Р. Б. МАРГОЛИТ

НАЛАДКА СТАНКОВ с программным управлением

Р. Б. МАРГОЛИТ

НАЛАДКА СТАНКОВ с программным управлением

Допущено
Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности
в качестве учебного пособия
для машиностроительных техникумов



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1983

ББК 34.63.5
М25
УДК 621.9.06.-529:62-77(07)

Редактор *Ю. Е. Михеев*
Рецензенты: канд. техн. наук *Е. В. Шашков* и инж. *Ф. В. Партола*

Марголит Р. Б.

М25 Наладка станков с программным управлением: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов. М.: Машиностроение, 1983. — 253 с., ил.

В пер.: 85 к.

М $\frac{2703000000-099}{038(01)-83}$ 99-83

ББК 34.63.5
6П4.6.08

© Издательство «Машиностроение», 1983 г.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение в машиностроение станков с программным управлением поставило задачу подготовки квалифицированного персонала, участвующего в создании, освоении и обслуживании этой сложной техники. В указанных процессах принимают участие конструкторы, технологи, программисты, наладчики станков, операторы, специалисты ремонтных служб. Следует подчеркнуть особую роль наладчиков. Освоение нового станка с программным управлением и настройка его на обработку детали требуют от наладчика широкого круга знаний в различных областях техники. Эрудиция наладчика в теоретических вопросах должна сочетаться с умением решать чисто практические задачи по настройке станка. Наладчик должен уметь выявлять недочеты в управляющих программах и корректировать их, добиваясь при минимальных затратах времени наилучших результатов по производительности, точности обработки и расходу режущих инструментов. Особая ответственность лежит на наладчике в тех случаях, когда возникают неисправности в работе станка. Наладчик должен в кратчайшие сроки отыскать причину неисправности и принять меры к ее устранению своими силами или с привлечением специалистов из соответствующих служб.

Наладчик должен уметь читать текст управляющей программы по перфоленте, хорошо разбираться в сопроводительной технологической документации, знать управление большинством моделей станков определенного типа, уметь пользоваться чертежами и схемами механических, гидравлических, электрических и электронных устройств, знать методы и приемы технического обслуживания, гарантирующие надежность станков.

Таким образом, от наладчика в значительной степени зависит производительность и качество обработки, а также надежность работы оборудования.

При изучении предмета «Наладка станков с программным управлением» необходимо ознакомить учащихся техникумов с теоретическими вопросами и при прохождении ими практики и выполнении лабораторных работ дать возможность приобрести практические навыки по наладке станков с программным управлением. Широкий круг вопросов, которыми вынужден заниматься налад-

чик, делают учебный предмет «Наладка станков с программным управлением» взаимосвязанным с другими учебными дисциплинами. Учащихся вне изучения данного предмета знакомят с основами технологии машиностроения, теории резания и режущего инструмента, теории взаимозаменяемости, программирования обработки на станках с ЧПУ, конструкцией металлорежущих станков, расчетом деталей машин и механизмов станков, электроприводом станков и электроавтоматикой станков с ЧПУ. Некоторые предметы из перечисленных изучают до прохождения курса «Наладка станков с программным управлением», некоторые одновременно с ним. Значительное место в курсе занимают расчеты механизмов, присущих станкам с ЧПУ; имеется в виду, что высокий уровень подготовки наладчиков должен предусматривать получение ими глубоких теоретических знаний.

По программе курса учащиеся должны выполнить курсовой проект на тему «Наладка станка с программным управлением на обработку заданной детали», включающий комплекс вопросов, нашедших отражение в данной книге.

Следует учитывать, что станки с программным управлением непрерывно совершенствуют в основном повышением уровня и расширением технических возможностей электронных устройств программного управления и электроавтоматики; существенно изменяются методы настройки станков с ЧПУ. В связи с указанным важно при освоении курса не только изучить конкретные приемы настройки того или иного станка (что может пригодиться в первые годы работы), но и освоить общие методы наладки, получить глубокие теоретические знания по конструкции и эксплуатации нового вида оборудования.

Работа на станках с ЧПУ переносит упор с проблемы «умения» на проблему «знания». Это приводит к повышению творческого начала в работе, делает ее интереснее.

Многие предприятия страны с помощью станков с ЧПУ решили некоторые сложные производственные, технические и экономические задачи и от внедрения отдельных станков перешли к комплексному перевооружению производства на базе этих станков. Повышение производительности труда, создание гибких переналаживаемых производств и в связи с этим сокращение затрат на освоение выпуска новых изделий, уменьшение объема доделочных работ на сборке, улучшение качества, решение проблемы дефицита в станочниках, особенно при использовании промышленных роботов (безлюдная технология), сокращение производственных площадей, транспортных и контрольных операций, уменьшение расходов на проектирование, изготовление и эксплуатацию зажимных приспособлений, вспомогательной оснастки и режущих инструментов, повышение культуры производства и улучшение условий труда — вот перечень тех положительных сторон, которые приводят к достижению экономической эффективности при эксплуатации станков с программным управлением.

Раздел 1

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАЛАДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 1

НАЛАДКА И НАСТРОЙКА СТАНКОВ

§ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАЛАДКЕ И НАСТРОЙКЕ

Наладка станка является одним из ответственных этапов его эксплуатации. Качественно выполненные наладка и настройка приводят к повышению производительности труда и качества продукции, способствуют сохранению долговечности оборудования.

Наладка — подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции.

Под наладкой следует понимать большой комплекс действий, направленных на подготовку как нового, так и находящегося в эксплуатации станка к работе и на поддержание его в работоспособном состоянии. *Настройка* — действия, присущие процессу подготовки находящегося в нормальном эксплуатационном состоянии станка к обработке детали. Таким образом, настройка станка на обработку детали есть часть наладочных работ. Сокращение времени настройки особенно важно в связи с расширением области использования станков с ЧПУ в мелкосерийном производстве.

Настройка станка на обработку включает в себя подготовку режущего инструмента и крепежной оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном для работы положении, пробную обработку первой детали, внесение коррективов в положение инструмента и режимы обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе.

§ 2. УПРАВЛЕНИЕ СТАНКАМИ С ЧПУ

Станки с ЧПУ могут работать в нескольких режимах, из которых основными являются автоматический, полуавтоматический, ручной ввод (преднабор) и ручной.

В автоматическом режиме управляющая программа, введенная от программоносителя, отрабатывается станком безостановочно до одной из вспомогательных команд останова M00, M01, M02, M03.

В полуавтоматическом режиме после отработки каждого кадра управляющей программы происходит останов рабочих органов, движение подачи возобновляется только после нажатия кнопки «Пуск».

Режим ручного ввода заключается в наборе на пульте управления информации и последующей ее отработки при нажатии кнопки «Пуск». Вводить информацию можно по всем адресам, но объем ввода не должен превышать объема одного кадра, т. е. можно иметь не более одной команды по каждому из адресов, за исключением некоторых, не противоречащих друг другу команд по адресам *G* (подготовительные функции) и *M* (вспомогательные функции), которых может быть по две-три.

В ручном режиме можно включать все механизмы станка и осуществлять перемещения рабочих органов. Современные станки с ЧПУ имеют обычно два-три пульта, оснащенных органами управления и сигнализации.

Для осуществления работы в ручном режиме предусмотрены чаще всего следующие органы управления: кнопки включения и останова шпинделя, зажима-отжима инструмента, смены инструментов; переключатели выбора инструментов, частот вращения шпинделя, выбора направления перемещения рабочих органов вдоль координатных осей, имеющие три позиции: +, — и 0 («+» соответствует перемещению вдоль осей в положительном направлении, «—» — в обратном); кнопка возврата рабочих органов в ноль станка, переключатели и кнопки дискретных перемещений.

На оперативном пульте станка имеются сдублированные с пультом устройства ЧПУ кнопки (или тумблеры) «Пуск» и «Стоп». Кнопкой «Пуск» дается команда на отработку информации в режимах ручного ввода, полуавтоматической и автоматической работы. Кнопкой «Стоп» прерывается отработка геометрической информации (технологические команды продолжают действовать). Практически это означает, что при нажатии на эту кнопку прекращается движение подачи, а вращение шпинделя продолжается с той частотой, на которой было прервано движение подачи, эмульсия продолжает поступать, вся информация сохраняется в памяти устройства ЧПУ.

Органы управления, необходимые для работы в автоматическом режиме, в большинстве случаев расположены на пульте устройства ЧПУ и частично дублированы на оперативном пульте станка. Все без исключения станки имеют специальный переключатель, позволяющий регулировать величину запрограммированной подачи в пределах от 0 до 120 %, а станки с бесступенчатым регулированием частоты вращения двигателя главного движения снабжены регулятором частоты вращения шпинделя.

Важнейшими органами управления, определяющими возможность повышения точности обработки, пока еще являются корректоры положения осей координат, длины и радиуса инструментов (в новейших системах ЧПУ коррекция вводится в память системы управления). Корректоры конструктивно оформлены на пульте устройства ЧПУ в виде набора декадных переключателей. Для токарных станков корректоры положения инструментов сведены в пары по осям *X* и *Z*, для фрезерных, расточных и многооперацион-

ных станков имеются корректоры длины и радиуса инструмента.

С помощью корректоров можно компенсировать систематические погрешности отработки управляющей программы, смещая вершину режущего инструмента. Например, в токарных станках можно компенсировать неточности настройки режущих инструментов, нежесткость системы СПИД, температурные деформации, размерный износ режущих инструментов.

Каждому переключателю коррекции на пульте управления присвоен свой номер. Переключателем набирается знак и величина смещения по соответствующей оси координат. Знак «плюс» коррекции свидетельствует о смещении вершины инструмента в положительном направлении оси координат, знак «минус» — в противоположном направлении. Вызов информации от корректора того или иного номера выполняется по командам управляющей программы. Набор величины коррекции осуществляется наладчиком либо по данным настройки инструмента на размер до начала обработки, либо по результатам пробных проходов и контроля размеров обработанных поверхностей.

Органы сигнализации можно разделить на три группы: оперативные сигнальные лампы, диагностические сигнальные лампы, устройство цифровой индикации. Оперативные лампы сигнализируют о включенном состоянии или готовности к выполнению цикла соответствующими агрегатами: включение станка в сеть, включение устройства ЧПУ, включение режима ручного управления (от станка), подтверждение готовности устройств, определяющих смену инструментов к осуществлению нового цикла смены, подтверждение нахождения рабочих узлов в исходном положении и др. Ряд ламп горит в момент выполнения механизмами станка определенных действий и гаснет при их завершении. Эти лампы могут сигнализировать о неисправности в случае прекращения нормальной работы.

Важным органом сигнализации является устройство цифровой индикации, которое на пульте ЧПУ оформлено в виде светового табло. На табло индикатируются численные значения команд по различным адресам. Для этой цели используют четыре вида сигнальных устройств: электронные индикаторные лампы, светодиоды, проекционные табло и электронно-лучевую трубку (дисплей). Объем индикации в современных станках различен — от индикации по ограниченному выбору некоторых команд до индикации полного содержания нескольких кадров. Суть индикации по выбору заключается в том, что имеется одно табло на 6—7 разрядов и переключатель адресов. Последовательно «опрашивая» адреса, можно высветить на табло информацию по каждому из них.

§ 3. СОДЕРЖАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Управляющая программа независимо от формы ее выражения всегда несет в себе технологическую и геометрическую информации. Технологическая информация содержит последовательность

и характер переходов; виды режущих, вспомогательных инструментов и крепежной оснастки; режимы резания; перечень необходимых для проверки результатов обработки контрольно-измерительных приборов. Технологическую часть программы оформляют в виде карт наладки и инструментальных карт. Последние разрабатывают для расточных и многооперационных станков с большим числом инструментов. Геометрическую информацию излагают в виде расчетно-технологических карт, она также содержится в тексте программы в закодированном виде и описывает траектории и величины перемещений рабочих органов и режущих инструментов. Рассмотрим, например, кадры № 56 и № 57 управляющей программы

$$N056G01X - 024060Z + 034600F70000T012M106$$

$$N057X - 001531F10031S004M007$$

Адресами X и Z закодирована геометрическая информация, отражающая перемещения рабочих органов; адреса N, G, F, T, S, M несут технологическую информацию соответственно о номере кадра, режиме работы устройства ЧПУ ($G01$ — режим линейной интерполяции), подаче ($F70000$ и $F10031$ — ускоренная и рабочие подачи), номере инструмента (Т012), частоте вращения шпинделя ($S004$ — четвертая ступень частоты) и включении вспомогательных команд ($M106$ — разрешение на смену инструментов, $M007$ — включение охлаждения).

§ 4. ПРОВЕРКА ПРОГРАММОНОСИТЕЛЯ

Одним из этапов настройки станка является контроль программоносителя. В новой перфоленте возможно наличие таких ошибок, которые не позволяют нормально отрабатывать программу. Эти ошибки лучше всего выявлять при работе в режиме «Проверка программоносителя» («Проверка перфоленты»), при котором происходят ускоренное считывание и проверка информации перфоленты без работы станка. Выявляются следующие ошибки: нарушение паритета (четности числа пробивок по каждой из строк перфоленты в коде ISO, нечетности — в коде EIA); нарушение правильности структуры кадра (фразы); нарушение нормального расположения строк и дорожек.

При прохождении через устройство ввода кадра, имеющего одну из указанных ошибок, дальнейшая отработка программы прекращается, и на пульте управления появляется сигнал «Ошибка считывания» («Ввод»). Для правильно ранее работавшей перфоленты в связи с износом возможно также появление подобных ошибок, приводящих к приостановке отработки программы. Если остановки редки и не носят систематического характера, то можно продолжать автоматическую работу, однако не с кадра, в котором произошла остановка, а с ближайшего предшествующего кадра, в котором рабочие органы занимают начальное для работы положение (ноль программы) и технологическая информация полно-

стью восстановлена. Такие кадры называют главными, в программе их помечают символом «:» (признак восстановления информации).

В грамотно составленной управляющей программе всегда необходимо чередовать серию рабочих кадров, выполняемых в течение нескольких минут, с главными кадрами, учитывая, что во время работы могут происходить неожиданные остановки и перерывы автоматического цикла.

Некоторые устройства ЧПУ имеют режим «Ускоренной отработки». В этом режиме станок отрабатывает управляющую программу, включая все геометрические и технологические команды, в ускоренном темпе, что позволяет при малых затратах времени просмотреть без обработки всю управляющую программу от начала до конца.

Для изготовления перфоленты используют бумажную, пластмассовую или пластмассовую металлизированную ленты. Бумажная лента дешевле остальных видов, чем объясняется ее широкое распространение. Однако она быстро выходит из строя из-за надрывов отверстий по транспортной дорожке, появления ворса в основных отверстиях, попадания масла на ленту. В местах попадания масла лента становится прозрачной, фотосчитывающее устройство считывает сигнал «1» вместо «0». В связи с этим недостатком все чаще белую ленту заменяют на черную, которая не чувствительна к замасливанию, а в новейших системах переходят на работу не от ленты, а на получение информации из памяти устройства ЧПУ.

Учитывая малую долговечность (несколько сот циклов) бумажной перфоленты, на некоторых предприятиях отказались от хранения рабочих экземпляров ленты. Рабочую ленту изготавливают методом дублирования контрольной перфоленты перед настройкой станка на обработку, а после использования уничтожают.

5. РЕЖУЩИЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Режущие инструменты закрепляют в шпинделе или на суппорте станка с помощью разнообразных вспомогательных инструментов (оправок, втулок, патронов, державок, блоков). Инструменты станков с ЧПУ должны отвечать следующим требованиям: отличаться высокой режущей способностью; обеспечивать долговечность и надежность работы; обеспечивать благоприятные условия стружкоотвода; характеризоваться стабильностью качества и высокой стойкостью; обладать возможностью настройки на размер вне станка; быть технологичными в изготовлении и относительно простыми по конструкции.

Практика показала, что обеспечение этих требований возможно только при создании для отдельных групп станков систем инструментов. Системой инструментов называют минимальный по количеству и строго регламентированный по исполнению набор вспомогательных режущих инструментов, позволяющий реализовать

в обработке все технологические возможности данной группы станков.

Отраслевым руководящим техническим материалом установлены три системы, регламентирующие номенклатуру и основные размеры вспомогательных инструментов для станков с ЧПУ: сверлильно-расточной и фрезерной групп; токарной группы — вспомогательный инструмент с цилиндрическим хвостовиком; токарной группы — вспомогательный инструмент с базирующей призмой.

На станках с ЧПУ успешно используют не только новую номенклатуру и типаж режущих инструментов, но и новые инструментальные материалы, позволяющие резко интенсифицировать процесс резания за счет работы на высоких скоростях. Применение новых материалов не является уделом только программных станков, однако ряд особенностей способствует наиболее эффективному использованию новых материалов именно на них. Станки с ЧПУ имеют более высокие пределы частот вращения шпинделя, обладают более высокими, чем станки с ручным управлением, мощностью, жесткостью, виброустойчивостью и плавностью перемещения рабочих органов. Зона резания станков с ЧПУ хорошо ограждена, защищая рабочего от стружки и брызг охлаждающей жидкости. Скорости перемещения рабочих органов могут быть весьма большими, так как благодаря автоматизации нет ограничений на реакцию человека в связи с изменением ситуации. К новым эффективным режущим материалам можно отнести синтетические сверхтвердые инструментальные материалы (СТМ), режущую минералокерамику и твердые сплавы со сверхтвердыми покрытиями карбидом и нитридом титана.

Режущие инструменты могут быть мерными, немерными и промежуточными. Полностью мерными инструментами являются развертки, метчики, зенкеры. К немерным следует отнести токарные резцы, у которых вершина режущей кромки не имеет точных расстояний от трех базовых плоскостей. Промежуточное исполнение имеют сверла, в диаметральном направлении они являются мерными, в осевом направлении их вершина занимает переменное положение в зависимости от числа переточек режущих кромок.

Программист рассчитывает перемещение одной из характерных (отсчетных) точек, принадлежащих рабочему органу станка. Так, на токарных станках с поворотной головкой (рис. 1, *а*) чаще всего отсчетная точка O_1 совмещается с проекцией оси поворота головки на координатную плоскость осей X и Z. В расточных, фрезерных, сверлильных и многооперационных станках (рис. 1, *б*) отсчетная точка O_1 находится на оси шпинделя у его переднего торца. Вершина режущего инструмента O_2 отстоит от отсчетной точки на некотором расстоянии $W = \sqrt{W_X^2 + W_Z^2}$, где W_X и W_Z — проекции вектора W на координатные оси X и Z. Координаты W_X и W_Z, учитывающие оптимальные вылеты режущих инструментов, проставляют в каталогах инструментов. Ис-

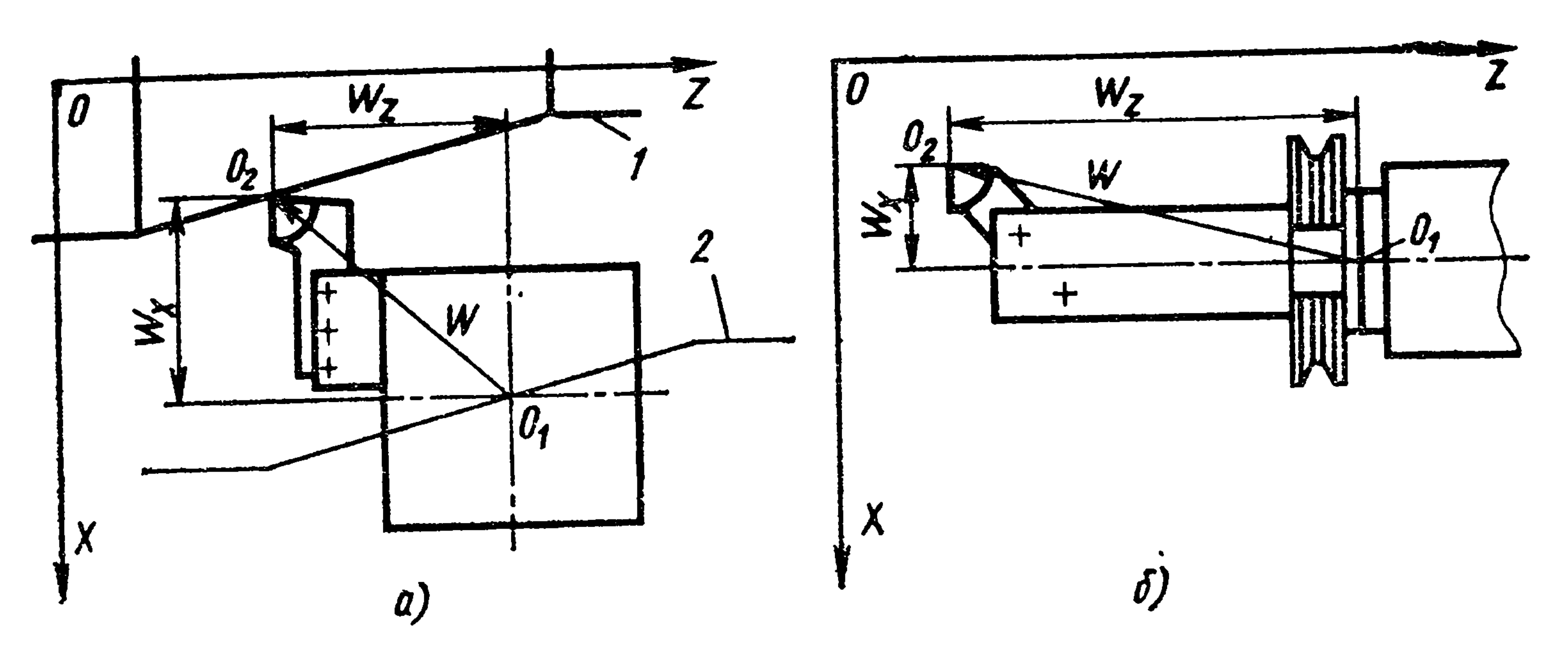


Рис. 1. Базирование инструментов

пользуя каталоги, программист рассчитывает траекторию *2* перемещения отсчетной точки, представляя обрабатываемую поверхность *1* в виде кривой, равноотстоящей от программируемой точки на расстояние *W*.

Из изложенного ясно, сколь важно настроить инструменты таким образом, чтобы их вершины отстояли от отсчетной точки точно на предусмотренных управляющей программой координатных расстояниях. Решению этой задачи служит настройка инструментов на размер. Этапы подготовки и настройки инструментов состоят из следующих видов работ: подбор режущих и вспомогательных инструментов по номенклатуре; проверка годности к работе; при необходимости ремонт и заточка; настройка на размер; доставка наборов режущих и вспомогательных инструментов к станку.

Для сокращения времени настройки станка эти работы выполняют заблаговременно вне рабочего места станка с ЧПУ, чаще всего на специализированных участках настройки инструментов.

§ 6. НАСТРОЙКА ИНСТРУМЕНТОВ НА РАЗМЕР ВНЕ СТАНКА

Настройка на размер выполняется на специальных приборах. Набор из вспомогательного и режущего инструмента устанавливают и закрепляют на приборе в подставке, имитирующей присоединительные под инструмент поверхности шпинделя или суппорта станка. Приборы имеют подвижную каретку, которая может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях; одновременно по линейкам можно отсчитывать величину перемещений каретки. Начало отсчета каждой из линеек совмещено с положением отсчетной точки. На верхней каретке находится устройство (микроскоп, проектор, индикатор, шаблон или другое измерительное средство), с помощью которого можно фиксировать момент совмещения заданного и фактического положения вершины режущего инструмента.

Оптический прибор БВ-2015 (рис. 2) предназначен для настройки инструментов к сверлильным, фрезерным, расточным и много-

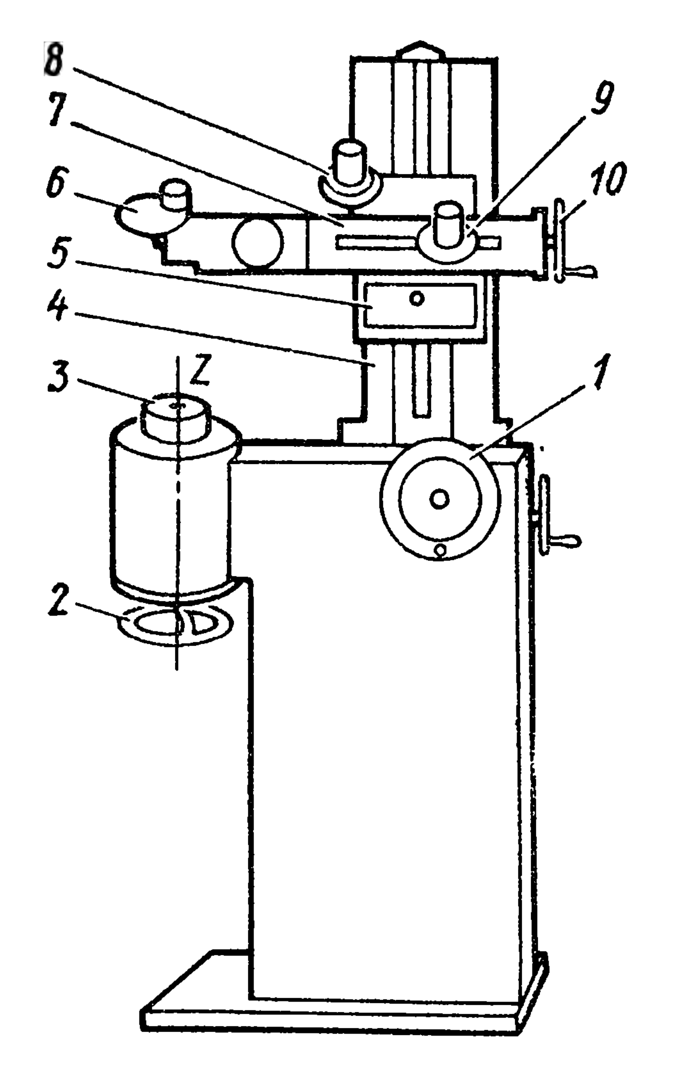
операционным станкам. Стойка *4* прибора имеет вертикальные направляющие для продольного перемещения каретки *5*, на каретке в горизонтальных направляющих в поперечном направлении перемещается траверса *7*, несущая на конце визирный микроскоп *6*. Шпиндель *3* смонтирован в подшипниках, и его можно поворачивать рукой. В верхней части шпинделя имеется коническое отверстие для установки переходной оправки, несущей режущий инструмент, закрепляемый рукояткой *6*. Координатные расстояния вершины режущей кромки устанавливают по отчетным микроскопам *8* и *9*, за инструментом наладчик наблюдает в микроскоп *6*. Маховички *1* и *10* необходимы для продольного и поперечного перемещений.

Основные данные прибора БВ-2015

Диаметр настраиваемого инструмента, мм	2—300
Вылет настраиваемого инструмента по оси *Z*, мм	100—500
Увеличение визирного микроскопа	30×
Цена деления отсчетных устройств, мм	0,001

Оптический прибор БВ-2010 (рис. 3) может быть приспособлен для настройки инструментов станков токарной и фрезерно-сверлильно-расточной групп. В первом случае на поверхность *А* основания прибора устанавливают подставку, имитирующую суппортную часть токарного станка, во втором случае подставка выполнена в виде бабки с горизонтальной осью вращения шпинделя. Подставка имеет поверхности для базирования и устройства для закрепления резцовых блоков или других инструментальных державок.

Отсчет размеров выполняют в двух горизонтальных координатных направлениях. Для проверки поло-



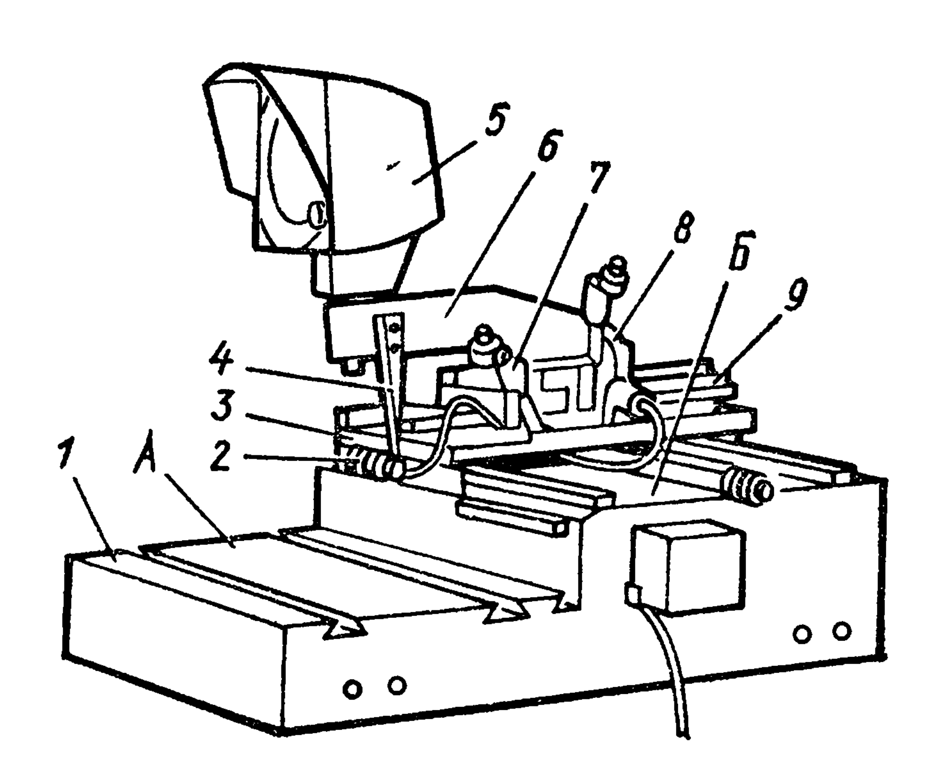


Рис. 2. Прибор для настройки инструментов БВ-2015

Рис. 3. Прибор БВ-2010

жения режущей кромки по высоте можно использовать индикатор часового типа ИЧ-5.

Основные данные прибора БВ-2010

Увеличение проектора	$30^{\times}$
Рабочее перемещение кареток, мм:	
продольное	300
поперечное	200
Цена деления отсчетных устройств, мм	0,001
Абсолютная погрешность установки проектора в двух координатах, мм	0,005

Прибор устроен следующим образом. На поверхности *Б* основания *1* укреплены призматические направляющие нижней каретки *3*, шкала продольного отсчета и стопор нижней каретки. На нижней каретке укреплены направляющие *9* верхней каретки, кронштейн *8* с отсчетным устройством продольного хода, осветитель шкалы продольного отсчета, кронштейн *7* с осветителем и отсчетным устройством поперечного хода и стопор верхней каретки. На верхней каретке размещены кронштейн *6* с проектором *5* и шкала поперечного отсчета. Для точной установки на размер обе каретки имеют механизм микроподачи. В направляющие встроены шарики, благодаря чему повышается плавность перемещения кареток и улучшается точность настройки. К кронштейну *6* прикреплен с помощью кронштейна *4* осветитель *2*, который обеспечивает подсветку вершины режущего инструмента, введенного в пространство между осветителем и объективом проектора.

Для выверки в процессе эксплуатации положения подставки под инструмент предусмотрен специальный контрольный шаблон с указанием координат его вершины. Шаблон своими присоединительными поверхностями базируют в подставке для инструмента, закрепляют винтами и прихватами, как это делают с резцовым блоком. Верхнюю и нижнюю каретки прибора устанавливают в заданные координаты вершины шаблона. Изображение шаблона на проекторе должно точно вписаться в перекрестие, а вершина должна совпасть с центром экрана. Если есть отклонение, необходимо сдвинуть подставку и закрепить ее в таком месте, которое обеспечит правильное положение изображения.

Прибор нужно оберегать от ударов и сотрясений. Направляющие верхней и нижней кареток перед началом работы необходимо смазать тонким слоем индустриального масла И-20А, при чистке с наружных поверхностей оптических деталей сначала смахнуть пыль беличьей кистью, если потребуется, протереть чистым обезжиренным ватным тампоном, смоченным в гидролизном этиловом спирте или эфире. Характерные неисправности приведены в табл. 1.

Разберем порядок настройки инструментов на оптическом приборе.

1. Закрепить на подставке резцовый блок (инструментальную державку).

2. Установить перекрестие проектора на требуемые координаты вершины инструмента W_X и W_Z в поперечном и продольном

1. Характерные неисправности в приборе и методы их устранения

Внешнее проявление неисправности	Причина	Метод устранения
При включенном приборе не горят лампы осветителей и подсветки шкал, не освещен экран проектора	Перегорел предохранитель	Заменить перегоревший предохранитель
Не горит одна из ламп подсветки шкал	Перегорела лампа подсветки	Заменить лампу
Экран проектора не освещен	Перегорела лампа осветителя	Заменить лампу и отцентрировать
Экран проектора недостаточно освещен	Запылилось защитное стекло. Нарушилось правильное положение лампы осветителя	Промыть стекло бензином. Отцентрировать лампу
Появился стук при перемещении в крайние положения	Износились амортизаторы	Отрегулировать винтами, заменить амортизаторы
Вершина контрольного шаблона расположена в требуемых координатах	Сбилась подставка под инструмент	Выверить положение подставки и закрепить винтами
Рабочие грани контрольного шаблона не совмещены с перекрестием экрана проектора	Сместилась подставка под инструмент	Выверить положение подставки, проверяя параллельность базирующих поверхностей под инструмент направление хода каретки, закрепить подставку

направлениях, для чего поочередно ослабить стопоры, передвинуть вручную каретки на заданные размеры (отсчет производить с помощью отсчетных устройств по штриховым мерам), закрепить каретки стопорами. Точную установку координатных размеров выполнить с помощью маховиков микроподачи.

3. Установить режущий инструмент в инструментальную державку, смещая его вершину в пространство между осветителем и объективом проектора так, чтобы проекция вершины вписалась в перекрестие, а проекции режущих кромок совпали с соответствующими линиями перекрестия экрана (рис. 4).

4. Закрепить режущий инструмент в инструментальной державке, следить при закреплении, чтобы инструмент не сместился.

При проверке мерных инструментов перекрестие проектора устанавливают в требуемые координаты, инструмент досылают до базовых поверхностей инструментальной державки и закрепляют. При работе промежуточными инструментами прибор используют не для настройки инструмента, а для определения фактического значения одной из его координат.

С помощью прибора можно проверять правильность и точность исполнения режущей части инструмента. На рис. 4, *а—в*, пред-

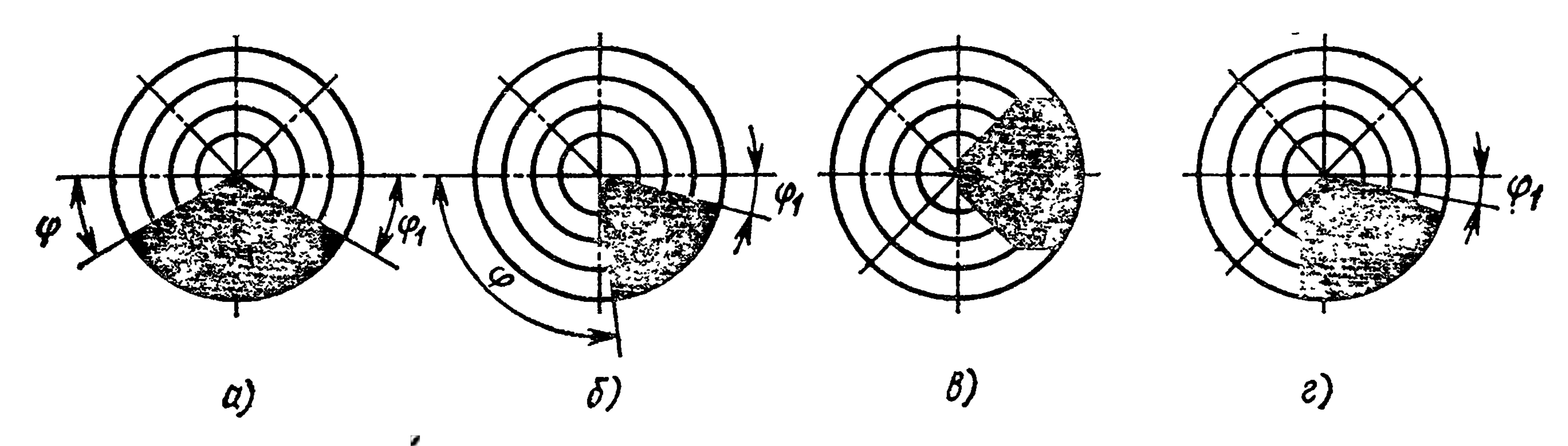


Рис. 4. Изображение вершин инструментов на экране проектора:
а, б — резцов; *в* — сверла; *г* — развертки

ставлены изображения на экране проектора режущей части резцов и сверла. Используя поворот перекрестия подвижного экрана, можно проверить значения главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане, а с помощью кольцевых линий — величину радиуса при вершине. Правильность угла заточки сверла и отклонение от симметричности перемычки, проявляющееся в виде различной длины режущих кромок, можно наблюдать визуально.

Ценным является возможность контроля на приборе величины и расположения зачистной режущей кромки (рис. 4, *г*), которой снабжаются многие финишные инструменты (резцы, развертки). Эта кромка небольшой длины имеет вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0 \ldots 2^\circ$, причем в большинстве случаев допуск на угол задан односторонним и не превышает нескольких минут.

Прибор мод. 2026 оснащен устройством цифровой индикации Ф5147 с индуктивными датчиками для установки продольных и поперечных координат. Режущая кромка инструмента визируется по проектору.

Наряду с такими находящимися на высоком техническом уровне приборами для настройки резцов токарных станков широко применяют простые по конструкции приспособления, в которых отсчет производят по линейкам с нониусами (цена отсчета 0,1 мм), а вершину резца устанавливают по вырезам в поворотном шаблоне. По форме вырезы совпадают с конфигурацией в плане режущей части различных резцов. Точность настройки в таком приспособлении, безусловно, ниже, чем в оптическом, однако вполне достаточна для получения без поднастройки свободных размеров и с несложной поднастройкой корректорами точных поверхностей.

§ 7. БАЗИРОВАНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК. НАСТРОЙКА КРЕПЕЖНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Карта наладки содержит сведения о методах базирования и закрепления обрабатываемой заготовки, в ней указаны тип зажимного приспособления и характер расположения на столе или шпинделе станка, шифры сменных элементов и их исполнительные размеры в случае доработок на месте и т. п.

Приспособления должны отвечать следующим основным требованиям: надежно закреплять заготовки; обладать необходимой жесткостью; предоставлять инструментам свободу подхода к обрабатываемым поверхностям; иметь высокую точность и обеспечивать четкое базирование; обладать свойством быстрой переналаживаемости при переходе к закреплению новой заготовки.

Наиболее широкое применение на токарных станках с ЧПУ нашли быстродействующие, быстропереналаживаемые зажимные патроны с механизированным приводом, а на расточных, фрезерных, сверлильных и многооперационных станках системы обратимых переналаживаемых приспособлений многократного использования, не требующие затрат времени и средств на проектирование и изготовление для каждой новой детали. К таким приспособлениям относятся универсальные приспособления, переналаживаемые для групп деталей, а также универсально-сборные (УСП) и сборно-разборные (СРП) приспособления.

Сущность системы УСП и СРП состоит в том, что из заранее изготовленных нормализованных, взаимозаменяемых и износостойких деталей и узлов можно многократно делать различные компоновки приспособлений для самых разнообразных металлорежущих станков и различных операций обработки. После использования приспособления разбирают, а их детали и узлы применяют для сборки других приспособлений, отличающихся от первых конструкцией и назначением.

Машиностроительный комплект элементов УСП состоит из 3196 деталей и узлов 216 наименований. Одновременно из этого количества элементов можно собрать и выдать в производство несколько десятков приспособлений.

Специальные приспособления, требующие проектирования и заблаговременного изготовления, применяют сравнительно редко, так как они не обладают свойством гибкости и тем самым не соответствуют основным качествам станков с ЧПУ. Тем не менее их вынуждены применять, если не удается закрепить заготовки в переналаживаемых приспособлениях. Стараются сделать специальные приспособления, по возможности, более простыми, использовать в них универсальные и стандартные элементы. В качестве базовых элементов используют стальные или чугунные плиты, в которых сверлят и развертывают отверстия под базирующие опоры и штыри. Эту работу целесообразно выполнять на том же станке с ЧПУ, на котором обрабатывают детали в данном приспособлении. Такое решение снижает стоимость приспособлений, сокращает время технологической подготовки и обеспечивает высокую точность.

Использование так называемых приспособлений-спутников становится эффективным, когда время на базирование и закрепление заготовки на станке значительно по своей продолжительности. В этом случае целесообразно произвести вне рабочей зоны базирование и закрепление второй детали в приспособлении-

спутнике, совмещая эти действия по времени с обработкой на станке первой детали в автоматическом режиме. По окончании обработки производится замена приспособления-спутника с первой деталью на спутник со второй деталью.

При правильной установке заготовка базируется на шесть точек. Они препятствуют перемещению детали вдоль трех координатных осей и вращению ее вокруг этих осей. На приспособлениях они воплощены в виде плоских поверхностей, опорных планок, плоских и сферических штырей, рабочих поверхностей призм, цилиндров, конусов, цилиндрических поверхностей зажимных кулачков.

Настройка подготовленных вне станка приспособлений заключается в правильном размещении их относительно рабочих поверхностей станка. При этом в угловом направлении приспособления всегда должны быть правильно сориентированы, а относительно линейного расположения могут возникнуть несколько вариантов.

1. Приспособление может занять единственно возможное положение, в этом случае выверять приспособление не требуется. К этому варианту можно отнести крепление к шпинделю токарного станка самоцентрирующего зажимного патрона и поводковых устройств, установку глухого центра в шпиндель и вращающегося — в пиноль задней бабки.

2. Управляющей программой допускается произвольное расположение приспособления вдоль осей координат. Такое размещение приспособления на столе свойственно сверлильным, фрезерным и расточным станкам в том случае, когда обработка ведется с одной стороны. Приспособление можно установить в любом месте на столе, выверив его в угловом направлении относительно линейных координат.

3. Приспособление должно занять относительно рабочих органов станка единственно допустимое управляющей программой положение из большого числа возможных. К этому варианту можно отнести настройку станка для обработки детали с нескольких сторон при повороте стола станка. При установке на столе станка приспособление необходимо выверить в угловом направлении, так же как и в предыдущем варианте, а в линейном направлении — по отношению к оси поворота. Задача сводится к расположению базирующих поверхностей приспособления — упоров 5 (рис. 5), препятствующих пе-

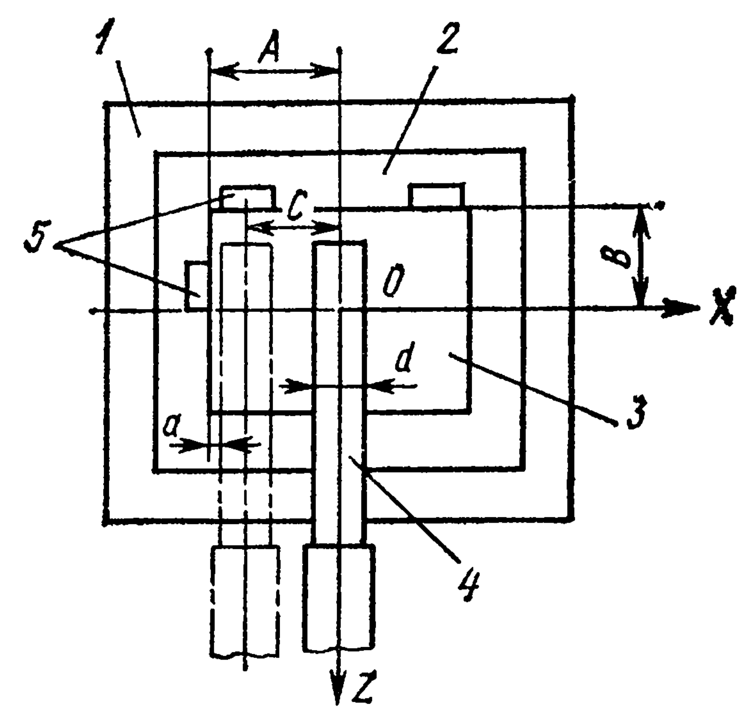


Рис. 5. Размещение приспособления на поворотном столе:

1 — стол станка; 2 — приспособление; 3 — обрабатываемая деталь; 4 — оправка в шпинделе; 5 — упоры

ремещению детали по осям X и Z, на предусмотренных управляющей программой расстояниях A и B от оси поворота стола O.

В шпинделе станка закрепляют мерную оправку диаметром d. Совмещают в одну плоскость ось поворота стола с осью шпинделя. Затем в режиме ручного управления или ручного ввода перемещают стол вправо на расстояние $C = A - a - d/2$, где a — некоторая величина, позволяющая проверять правильность размера A с помощью набора мерных плиток. По результатам замеров приближают или отодвигают приспособление или упор от оси X относительно оси поворота. После поворота стола на 90° выверяют размер B.

§ 8. УСТАНОВКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ИСХОДНОЕ ДЛЯ РАБОТЫ ПОЛОЖЕНИЕ

Важным этапом в подготовительных работах перед началом обработки является установка рабочих органов в исходное для работы положение, так называемый ноль программы.

Станок и схему обработки можно характеризовать тремя координатными системами, тремя базовыми точками и двумя исходными положениями рабочих органов (рис. 6). Первая координатная система — система координат станка X, Y, Z, имеющая начало отсчета в первой базовой точке O. Вторая координатная система — система координат программы X_1, Y_1, Z_1, в которой произведено программирование и выполняется обработка детали. Эта координатная система имеет начало отсчета во второй базовой точке O_1, размещенной непосредственно на заготовке *1* или согласована с ней.

Оси координат X_1, Y_1, Z_1 программы параллельны осям координат X, Y, Z станка и также направлены. Положение точки O_1 (начало координат программы) выбирает программист исходя из удобства отсчета размеров.

Третья базовая точка — программируемая отсчетная точка O_2 связана с рабочими органами, несущими инструмент *2*. Она является началом отсчета третьей координатной системы X_2, Z_2, по которой отсчитываются координатные расстояния W_x и W_z вершины режущих инструментов. Отсчет ведут в координатной плоскости $X_2O_2Z_2$, направленность осей противоположна осям станка и программы.

Первое исходное положение рабочих органов называют нулем станка. Обычно это положение, при котором рабочие органы, не-

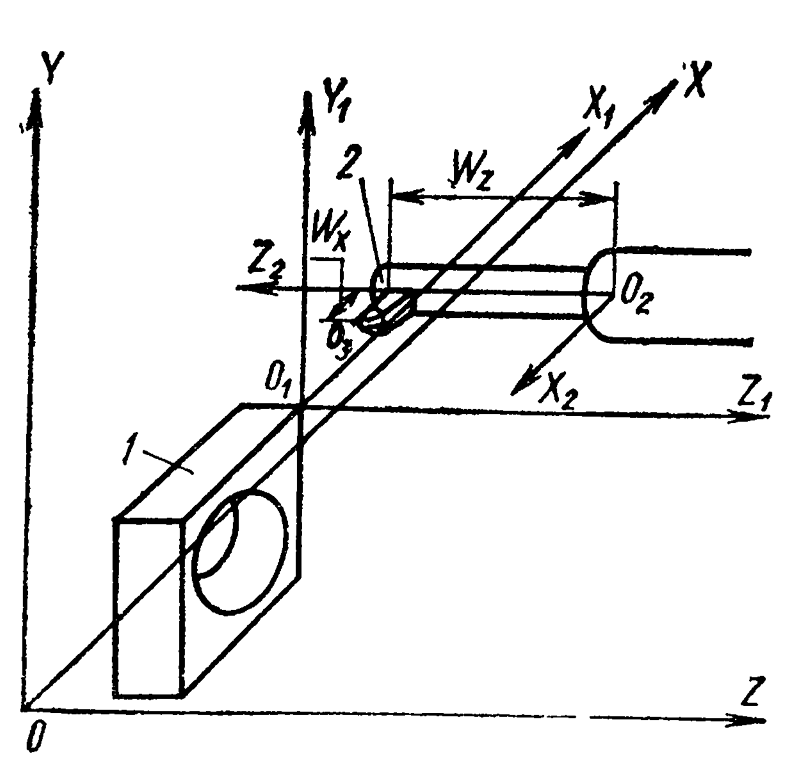


Рис. 6. Системы координат станка и программы

сущие заготовку и инструмент, располагают в наибольшем удалении друг от друга (точка O_2 в наибольшем удалении от точки O).

В ноль станка рабочие органы можно переместить от кнопок на пульте управления станком или соответствующими командами управляющей программы. Точный останов рабочих органов в нулевом положении по каждой из координат обеспечивается датчиками нулевого положения.

Второе исходное положение рабочих органов — ноль программы. Нулем программы называют положение, занимаемое рабочими органами станка, подготовленного к проведению обработки. Ноль программы выбирает программист, и чаще всего это положение не совпадает с нулем станка (точка O_2 оказывается в промежуточном положении). Во избежание излишних холостых перемещений второе исходное положение, от которого начинается обработка и, следовательно, в котором производится смена заготовок и инструментов, программист задает таким образом, чтобы инструменты были возможно ближе к обрабатываемой детали.

Стремлению сблизить инструменты и заготовку в нуле программы противопоставлена опасность, что инструменты при смене могут столкнуться с заготовкой или возникнет неудобство съема обработанной детали и установки новой заготовки. Эти два соображения заставляют программиста придвигать ноль программы ближе к нулю станка. Правильный выбор нуля программы, в частности по оси Z, может быть осуществлен на основании расчета. Расстояние между крайним (в сторону инструментов) торцом заготовки и инструментом, имеющим наибольший координатный вылет по оси Z (максимальное значение W_Z), при расположении рабочих органов в нуле программы должно обеспечивать удобство установа, съема и, в некоторых случаях разворота заготовки и обработанной детали.

Таким образом, станок имеет строго зафиксированные координатную систему станка и положение рабочих органов в нуле станка, а выполнение обработки осуществляется в выбранной программистом координатной системе программы при исходном положении рабочих органов в нуле программы.

Для удобства настройки станков современные устройства ЧПУ снабжены так называемым плавающим нулем и смещением рабочих органов.

Смысл плавающего нуля состоит в том, что начало отсчета системы координат программы можно смещать в пространстве во всем диапазоне перемещений рабочих органов. Если при любом положении рабочих органов на пульте устройства ЧПУ нажать соответствующую кнопку сброса геометрической информации, то на табло цифровой индикации загорятся нули. Начало отсчета координат при этом смещается в новую точку, соответствующую данному расположению рабочих органов.

Для фиксирования нуля программы используют другую возможность: смещение рабочих органов, назначение которого со-

стоит в том, чтобы иметь возможность переместить рабочие органы по соответствующим командам управляющей программы или ручного ввода из нуля станка в ноль программы. На пульте управления устройства ЧПУ имеются наборы декадных переключателей смещения рабочих органов, иногда их называют переключателями «смещения 0», «сдвига 0». Например, в устройстве Н22-1 имеются команды на смещение рабочих органов *G*58*M*61 и на отмену смещения — *G*53*M*61. Переход рабочих органов из нуля станка в ноль программы осуществится автоматически при отработке кадра с командами *G*58*M*61. После выполнения всех перемещений, заданных управляющей программой, рабочие органы вернутся в ноль программы, если смещение нуля не отменено.

Для удобства первичной отладки новой управляющей программы целесообразно разделить ее на части (технологические зоны обработки) так, чтобы каждый переход начинался и завершался в нуле программы. Еще удобней, если в конце каждой зоны имеется возможность перейти в ноль станка. Эта возможность реализуется за счет наличия в программе исключаемых кадров, отмеченных знаком «/» (чертой дроби), внутри которых заключены команды *G*58*M*61 в начале каждой зоны и *G*53*M*61 в ее конце.

После завершения настройки станка следует нажать клавишу со знаком «/» на пульте управления, что исключит все кадры с этим знаком и даст возможность вести последующую обработку из нуля программы, а в ноль станка возвращаться только при необходимости.

Теперь рассмотрим, как практически отыскать положение нуля программы при настройке станка. Данные, приведенные в карте наладки, не могут быть использованы для непосредственного набора величин на декадных переключателях «смещения 0», так как программист не знает для конкретного станка точного расстояния между базирующими поверхностями приспособления и положением рабочих органов в нуле станка и не задает величин смещения в карте наладки.

Величины смещения нуля отыскиваются в процессе выполнения настройки. Можно дать совет наладчику зарегистрировать найденные величины смещения нуля, отметив их в карте наладки, с тем чтобы при повторной настройке данного станка ускорить процесс установки рабочих органов в исходное для работы положение. Из всех возможных приемов следует выбрать тот, который при наименьших затратах времени приведет к наивысшей точности установки рабочих органов в ноль программы.

Наладчик с малым опытом чаще всего отыскивает положение нуля программы путем нескольких проб; по карте наладки выясняет, на каком расстоянии от обрабатываемой поверхности заготовки располагается исходное положение рабочих органов. В это положение он с большой долей приближенности смещает рабочие органы, отмеряя расстояние между инструментом и заготовкой

универсальными измерителями (линейкой, штангенциркулем). Во избежание брака наладчик несколько отдаляет за счет положения нуля программы инструмент от заготовки, проводит по программе пробную обработку некоторых поверхностей, проверяет результаты обработки, замеряя размеры обработанных поверхностей. По результатам пробной обработки и замеров уточняется нулевое положение программы путем изменения фактического расположения рабочих органов. После повторной обработки наладчик вносит поправку в положение нуля программы. Убедившись в правильности расположения нуля программы, наладчик производит сброс показаний цифровой индикации и, нажимая на кнопки, направляет рабочие органы в ноль станка. Возникшие показания цифровой индикации отражают расстояния между нулем станка и нулем программы. Очевидно, что описанный метод настройки не является самым рациональным, так как требуемое положение нуля программы достигается в результате нескольких проб.

Быстрее и точнее определить ноль программы можно, произведя отсчет указанных в карте наладки расстояний между базовыми поверхностями приспособлений и программируемой точкой с помощью координатных перемещений станка и специальных измерительных приспособлений. Для станков, у которых режущие инструменты закрепляют в шпинделе станка (расточного, фрезерного, многооперационного), такими приспособлениями могут быть специальные мерные оправки, установленные в шпинделе.

Опытные наладчики для быстрого и точного определения расстояния между нулем станка и нулем программы в ручном режиме обрабатывают в размер крайние в сторону инструментов поверхности заготовки и в этом положении сбрасывают на ноль показания цифровой индикации. Отведя рабочие органы в ноль станка, рассматривают показания цифровой индикации по каждой из координат как сумму величин, где первая — искомое расстояние между нулем станка и нулем программы (смещение нуля), а вторая — перемещение по программе из нуля программы до обрабатываемых поверхностей. Вторую часть суммы наладчик берет из текста программы или карты наладки.

Поясним сказанное примером отыскания положения нуля программы при настройке токарного станка (рис. 7). Программист в карте наладки указал, что программируемая отсчетная точка O_2 при положении суппорта в нуле программы отстоит от начала координат программы (точка O_1) на расстояние x_0 = 195 мм и z_0 = = 365 мм. Начало координат программы выбрано на пересечении оси вращения и правого чистового торца детали. Нетрудно подсчитать, что вершине резца для достижения точки O_1 нужно пройти путь от оси X_1 равный 45 мм ($x_1 = x_0 — W_{x_1}$), а по оси Z равный 210 мм ($z_1 = z_0 — W_{z_1}$).

Предлагаем следующий порядок работы:

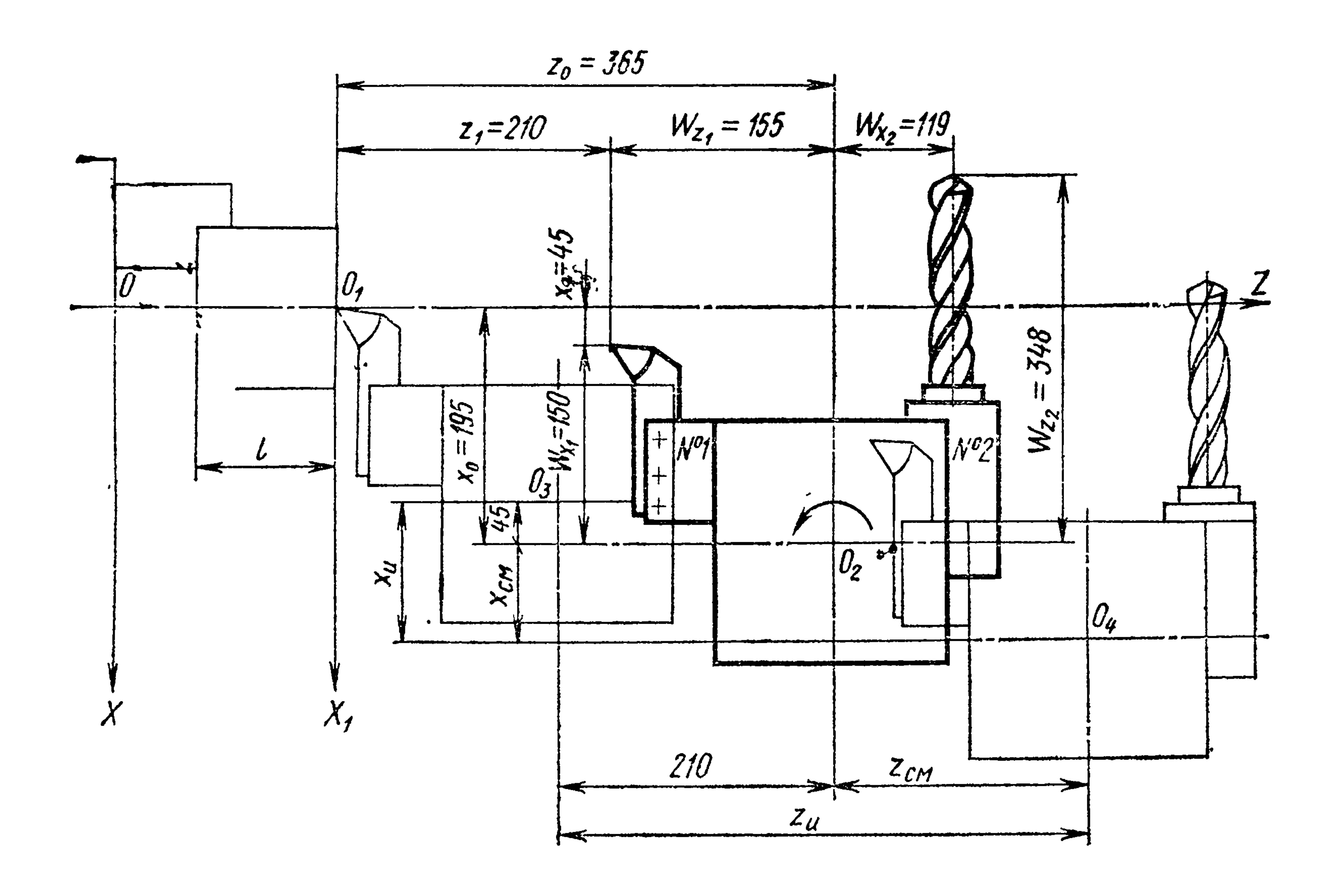


Рис. 7. Схема настройки токарного станка

1) переключатель режима работ установить в положение «ручное управление»;

2) подвести резец к заготовке;

3) подрезать торец заготовки, проверяя получение размера l, до выхода вершины резца на ось; центр револьверной поворотной головки занимает положение O_3;

4) произвести сброс на ноль показаний цифровой индикации;

5) передвинуть суппорт в ноль станка; центр поворотной головки смещается в положение O_4;

6) записать показания цифровой индикации по осям X и Z (соответственно величины $x_и$ и $z_и$); координатные расстояния между точками O_3 и O_4;

7) подсчитать величины смещения нуля $x_{см} = x_и - 45$ и $z_{см} = z_и - 210$;

8) набрать на декадных переключателях устройства смещения нуля значения $x_{см}$ и $z_{см}$ со знаком минус.

Настройка расположения инструмента в координатной системе программы предельно облегчена в станках с оперативным (ручным программным) управлением. Здесь возможна работа не настроенным вне станка инструментом, так как устройство ЧПУ имеет специальный режим размерной привязки инструмента.

На станках 16К201 и 16К30Ф333, оснащенных устройством оперативного управления «Электроника НЦ-31», процедура размерной привязки осуществляется следующим образом:

1. Выбирается начало координат программы, например на правом чистовом торце детали.

2. Вызывается нужный инструмент, например упорно-проходной резец.

3. Включается вращение шпинделя, и в режиме ручного управления резец подводится к заготовке.

4. Управляя маховичком, производят наружное обтачивание заготовки на длину, достаточную для измерения наружного диаметра.

5. Останавливают шпиндель и измеряют диаметр проточенной поверхности.

6. Устройство ЧПУ переводят в режим размерной привязки инструментов и измеренный диаметр нажатием на клавиши вводят в память устройства.

7. Включают вращение шпинделя, в режиме ручного управления резец подводят к торцу заготовки и обрабатывают торец.

8. Инструмент отводится по оси X, останавливается шпиндель, измеряют расстояния по оси Z от начала координат программы до проточенного торца.

9. Устройство ЧПУ переводится в режим размерной привязки инструментов и измеренная величина вводится в память.

Современные устройства ЧПУ обладают еще одной возможностью, близкой к плавающему нулю, а именно возможностью пересчета положения программируемой точки. Эту возможность используют при работе несколькими инструментами или при обработке деталей, закрепленных в многопозиционных приспособлениях. Она реализуется командой $G92$ управляющей программы при работе в абсолютной системе, $G92$ подтверждает любое новое положение программируемой точки относительно начала координат программы (или наоборот). Суть использования этой команды покажем на примере токарной обработки деталей двумя инструментами (см. рис. 7). Программируемая точка, принадлежащая суппорту, имеет в нуле программы координаты $x_0 + 195$, $z_0 + 365$. Координатные размеры вершины первого инструмента (резца), отсчитанные от программируемой точки, $W_{x_1} = 150$, $W_{z_1} = 155$; координатные размеры второго инструмента (сверла) $W_{x_2} = 119$, $W_{z_2} = 348$. Вершина первого инструмента в нуле программы отстоит от начала координат программы (точка O_1) на расстояние, характеризуемое координатами $x_1 = 45$, $z_1 = 210$; вершина второго инструмента (после поворота револьверной головки) окажется в нуле программы, отстоящей от начала координат на расстояние $x_2 = 76$, $z_2 = 17$.

Начало программы работы резца будет иметь такой кадр: $G92X + 45Z + 210$ (геометрическая информация записана условно в миллиметрах). Этим кадром программируемая точка совмещается с вершиной резца, имеющей координаты $x_1 + 45$, $z_1 + 210$, и одновременно подтверждается положение начала координат в точке O_1. Никаких перемещений суппорта не происходит. Все дальнейшее программирование выполняется в удобном для расчета и проверки программы виде. Например, приближение

резца к торцу заготовки без смещения по оси X: $G01X + 45Z0$; перемещение вершины резца в точку O_1 : $G01X0Z0$; уход в ноль программы: $G01X + 45Z + 210$ и т. д.

После смены инструмента рабочее положение займет сверло. Координаты вершины сверла ($x_2 + 76$, $z_2 + 17$) отличаются от координат резца, однако с помощью команды $G92$ можно пересчитать положение программируемой точки таким образом, что программирование будет выполняться в удобном виде: $G92X + + 76Z + 17$. Происходит пересчет положения программируемой точки, которая смещается в координаты $x + 76$; $z + 17$ и тем самым совмещается с вершиной сверла. Все программирование выполняется в координатах траектории вершины сверла, отсчитанных от начала отсчета (точка O_1).

Таким образом, команда по адресу $G92$ предшествует работе каждого нового инструмента. По этой команде без фактических перемещений рабочих органов станка смещается положение отсчетной программируемой точки относительно одного и того же начала координат (точка O_1) и происходит совмещение этой точки с вершиной инструмента.

Можно использовать команду $G92$ также для облегчения программирования и отладки программы обработки нескольких деталей, установленных в разных позициях одного приспособления или нескольких приспособлений на одном рабочем столе станка. В этом случае управляющую программу рассчитывают не в единой системе координат, а в нескольких для каждой обрабатываемой детали. Многопозиционную обработку часто выполняют на сверлильных, фрезерных, расточных и многооперационных станках.

§ 9. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

Для контроля линейных размеров обрабатываемых деталей в цеховых условиях используют универсальные средства измерения (рис. 8), предельные калибры и шаблоны. Для контроля наружных и внутренних размеров, высот, глубин и длин, выполненных по квалитетам 14 . . . 17, применяют штангенинструмент: штангенциркуль (рис. 8, *а*), штангенрейсмасс (рис. 8, *б*), штангенглубиномер (рис. 8, *в*). Микрометрический инструмент (микрометр, рис. 8, *г*), микрометрический глубиномер (рис. 8, *д*), микрометрический нутромер (рис. 8, *е*) используют для измерения деталей, размеры которых изготовлены по квалитетам 8 ... 12.

Более точные размеры, выполненные по квалитетами 5 ... 7, измеряют рычажно-механическим инструментом: индикатором часового типа (рис. 8, *ж*), рычажным микрометром (рис. 8, *з*) нутромером (рис. 8, *и*).

К отклонениям формы поверхностей деталей типа тел вращения в поперечном сечении относятся овальность, огранка, отклонения от круглости. Измеряя микрометром, рычажной ско-

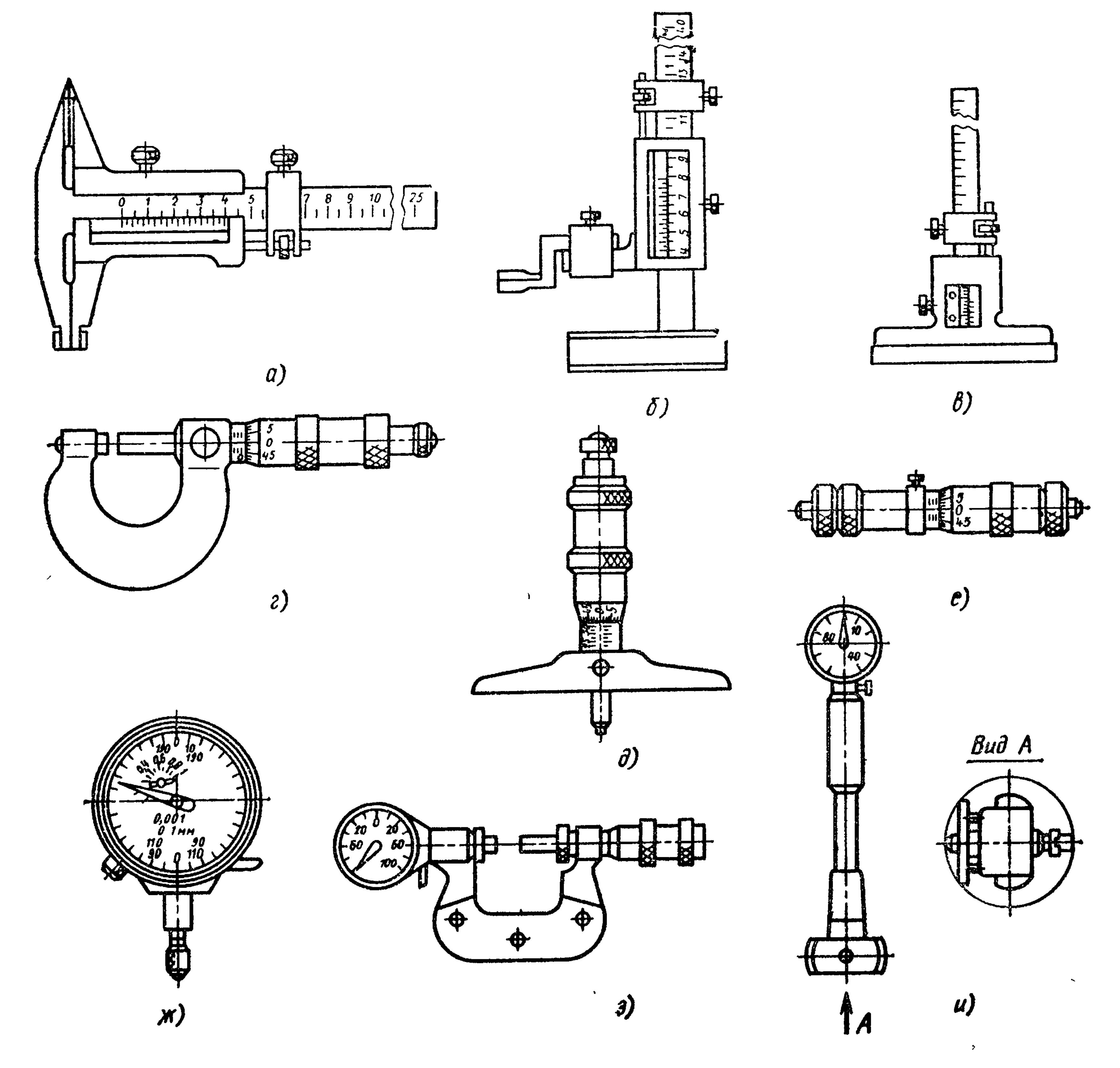


Рис. 8. Универсальные контрольно-измерительные инструменты

бой или нутромером размеры диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях, определяют величину овальности вала или отверстия. Огранку вала или втулки выявляют при вращении их на призме, учитывая при этом угол призмы и число ее граней. Отклонение от круглости — это комплексный показатель отклонения профиля поперечного сечения. Измерив отклонение от круглости, можно определить и овальность, и огранку. Для контроля круглости применяют специальные записывающие приборы, называемые кругломерами, принцип действия которых основан на точном вращении шпинделя, несущего измерительный щуп, или точном вращении стола, на котором установлена деталь.

Отклонения от плоскости и прямолинейности (отклонения формы плоских поверхностей) контролируют с помощью поверочных линеек и плит методами «на краску» и «на просвет», уровней, автоколлиматоров, оптических линеек, оптических плоскомеров.

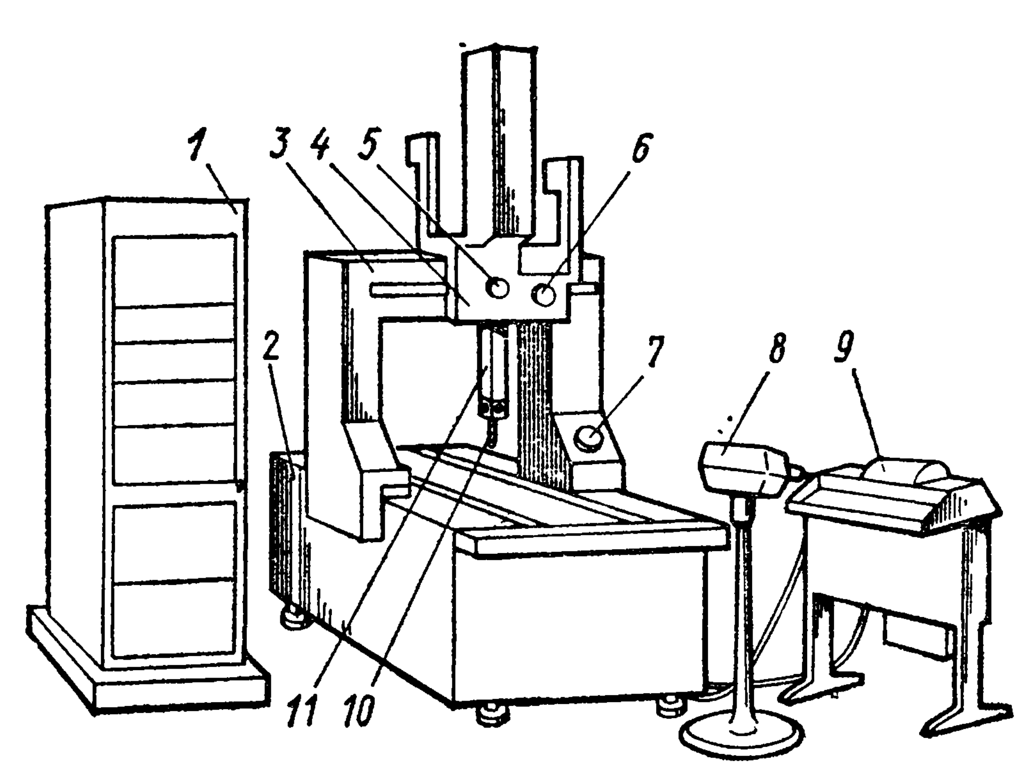


Рис. 9. Контрольно-измерительная машина:

1 — ЭВМ; 2 — станина; 3 — стойка; 4 — каретка; 5 — маховик перемещения ползуна; 6 — маховик перемещения каретки; 7 — маховик перемещения стойки; 8 — пульт выбора программы работы ЭВМ; 9 — цифропечатающее устройство; 10 — измерительный датчик; 11 — ползун

Отклонения расположения поверхностей (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, радиальное и торцовое биение) контролируют индикаторами часового типа и измерительными головками, установленными на штативах или специальных приспособлениях.

Наиболее прогрессивным методом контроля размеров, отклонений расположения и формы поверхностей является контроль с помощью трехкоординатных контрольно-измерительных машин (КИМ) (рис. 9). По конструкции КИМ разделяют на три группы: портальные, с вертикальной и горизонтальной консолью.

Современные КИМ оснащены микро-ЭВМ, цифровой индикацией, цифропечатающим устройством. Программы ЭВМ обеспечивают измерения в декартовых и полярных координатах, контроль диаметров отверстий и валов, определение положения центров отверстий, позволяют выявить отклонения формы и взаимного расположения поверхностей деталей.

Для оценки шероховатости поверхности применяют методы сравнения с образцами шероховатости; ощупывания (контактный), слепков, светового сечения, интерференционный.

На рабочих местах применяют первые два метода. Обработанную поверхность при первом методе визуально сравнивают с образцами шероховатости поверхности. Образцы шероховатости поверхности изготовлены из стали, чугуна и других материалов для различных видов обработки (точение, фрезерование, строгание, шлифование) и имеют различные параметры шероховатости.

Для более точного измерения величины шероховатости применяют портативные контактные приборы, называемые профилометрами, принцип действия которых основан на ощупывании алмазной иглой с радиусом закругления 10 ... 12 мкм микронеровностей поверхности. Эти приборы предназначены для измерения параметра *Ra*. Для оценки величины шероховатости по параметрам *Ra* и *Rz* применяют профилографы-профилометры, имеющие наряду с отсчетным устройством еще и записывающее.

Контроль шероховатости труднодоступных поверхностей и поверхностей сложной формы осуществляют методом слепков. На измеряемую поверхность наносят специальную массу (маслянo-гуттаперчевую или восковой сплав). Снятый отпечаток исследуется затем на приборах.

§ 10. ПРОБНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛИ

Настройку станка завершают пробной обработкой первой детали партии. Этим как бы подводят итог правильности выполнения всех предшествующих этапов настройки: ознакомления с картой наладки и текстом управляющей программы; проверки программоносителя; подготовки, настройки и установки на станке наборов режущих и вспомогательных инструментов; подготовки крепежного приспособления, базирования и закрепления заготовки; установки рабочих органов в ноль программы; подготовки контрольно-измерительных инструментов.

Предлагаем следующую общую схему подготовительных работ.

1. Проверить правильность набора на декадных переключателях смещения нуля и коррекции (положения рабочих органов, длины и радиуса инструментов).

2. Включить станок и при необходимости отдельные системы (смазочные, гидравлические).

3. Прогреть гидравлическую систему, а для выполнения точных работ — шпиндельную бабку (в течение 15—20 мин).

4. Переключить управление на режим ручной работы, вывести рабочие органы из нуля станка на 100—150 мм по каждой координате.

5. Вернуть рабочие органы в ноль станка.

6. Отпустить кнопку-клавишу «Исключаемые кадры».

7. Переключить на режим автоматической работы.

8. Закрыть кожухи ограждения, наблюдение за дальнейшей работой осуществлять через прозрачные смотровые экраны.

9. Осуществить пуск автоматического цикла.

10. После обработки первых поверхностей нажать на кнопку «Стоп» и прервать дальнейшую отработку автоматического цикла.

11. Переключить управление на ручной режим работы.

12. Отвести режущий инструмент от заготовки на несколько миллиметров, используя переключатель дискретных перемещений.

13. Произвести измерения, убедиться в правильности выполнения размеров и достижении требуемой шероховатости поверхности.

14. Восстановить взаимное расположение режущего инструмента и заготовки.

15. Переключить на режим «Автомат».

16. Продолжить обработку в автоматическом режиме до завершения цикла.

17. Осмотреть обработанную деталь, произвести необходимые измерения.

18. Набрать на корректорах необходимые поправки, корректирующие возникшие погрешности.

19. Повторить обработку в автоматическом режиме.

По такой схеме следует выполнять пробную обработку детали с циклом обработки в несколько минут. При бóльших затратах времени следует прерывать автоматический цикл после обработки каждой из поверхностей, производить контроль, при необходимости ввод коррекции и повторную обработку данной поверхности.

§ 11. ПРОВЕРКА И ОЦЕНКА НОВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Весьма ответственным этапом работы наладчика является отладка новой управляющей программы, в ходе которой проверяют оптимальность ее по параметрам производительности, качества обработки, отсутствия вибраций, стойкости инструментов, приемлемого схода стружки. По результатам пробной отработки выполняют корректирование (редактирование) управляющей программы. Эти этапы в наибольшей степени требуют от наладчика глубоких теоретических знаний и творческого подхода.

Работа начинается с выявления ошибок, не позволяющих вообще осуществлять нормально процесс обработки. Чаще всего встречаются следующие ошибки первоначальной редакции управляющей программы:

ноль программы выбран за пределами рабочей зоны, т. е. за нулем станка;

использованы технологические команды, не выполняемые станком, чаще всего завышенные подачи рабочих перемещений и завышенные частоты вращения шпинделя;

инструменты при холостых перемещениях и сменах задевают за элементы станка, крепежную оснастку или обрабатываемую деталь.

Целесообразно с точки зрения безопасности выявлять первые две ошибки при отработке программы в холостом режиме, т. е. без заготовки, однако это приводит к лишним затратам времени. Наибольшее внимание от наладчика требует вероятность наличия в программе третьего вида ошибок, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации. Новую незнакомую программу лучше всего отрабатывать в полуавтоматическом режиме. Сверяясь с текстом программы и выявив кадр, невозможный или нежелательный для отработки, не следует нажимать на клавишу «Пуск», Аварийная ситуация возможна также при наборе неправильной информации на декадных переключателях смещения нуля и коррекции.

При холостых подводах инструментов к заготовке в сомнительных ситуациях нужно снижать скорость перемещения рабочего

органа, пользуясь регулятором величины подачи. При незапланированной встрече перемещающихся инструментов с заготовкой, элементами станка или приспособления следует нажать кнопку «Стоп подачи», а при встрече инструментов с препятствием в момент их смены — нажать аварийную кнопку «Стоп».

Для оценки оптимальности управляющей программы наладчик в первую очередь должен знать принципы построения технологических процессов на станках с ЧПУ. Основная характерная черта — интеграция обработки, т. е. последовательное выполнение в одной операции большого числа переходов, осуществляемых различными инструментами. В интеграции залог производительности, так как сокращается время, затрачиваемое ранее на подготовку нескольких операций; в интеграции залог точности, потому что обработка многих поверхностей с одного установа от единой базы приводит к более точным результатам, чем обработка отдельных поверхностей при различном базировании заготовки. Интеграция обработки способствует сокращению цикла изготовления партии деталей, сокращению транспортных расходов, создает условия для четкой организации производства.

Возможность интеграции определяется характеристикой станка с ЧПУ: многоинструментностью, повышенной мощностью и жесткостью, высокой точностью. На одном станке можно различными инструментами выполнять как черновую, так и чистовую обработку, следовательно, можно поставить задачу полной обработки — от заготовки до готовой детали — за минимальное число операций.

Поверхности, ограничивающие деталь, условно можно разделить на поверхности основных и дополнительных форм. К основным формам относятся наружные и внутренние плоские, цилиндрические, конические, криволинейные поверхности значительной протяженности. К дополнительным формам поверхностей относятся мелкие отверстия, выточки, канавки, резьбы и др.

Можно рекомендовать следующий порядок выполнения операции:

1) черновая обработка основных форм поверхностей;

2) черновая и чистовая обработка дополнительных форм поверхностей;

3) чистовая обработка основных форм поверхностей;

4) обработка дополнительных форм поверхностей (если они не были окончательно обработаны ранее);

5) отделочная обработка особо точных основных форм поверхностей.

Для правильно построенной операции характерен последовательный переход от черновой обработки к чистовой и от чистовой к отделочной, чтобы деформации, возникающие при обдирке и непосредственно в первый момент после нее от проявления внутренних напряжений, не отразились на конечной точности обработки.

Следующий этап проверки оптимальности управляющей программы заключается в оценке правильности выбора режимов ре-

зания. При черновых проходах необходимо достичь наивысшей производительности, критерием выбора режимов является экономическая стойкость инструмента, при которой затраты на обработку становятся наименьшими. При чистовых проходах определяющую роль в выборе режимов играют требования к достижению геометрической точности и шероховатости обработанной поверхности.

Экономические соображения вносят элемент отличия в выбор режимов резания при работах на станках с ЧПУ по сравнению со станками с ручным управлением. Работа на таком оборудовании характеризуется большими затратами в единицу времени работы станка, прежде всего из-за высокой стоимости самого станка. Доля стоимости инструмента в единицу времени на порядок меньше доли стоимости станка. Экономически целесообразно повышать производительность труда за счет интенсификации режимов обработки, сократив период стойкости режущих инструментов, что приведет к некоторому увеличению их расхода. В первую очередь следует повышать скорость резания и пропорционально минутную подачу, сохранив подачу на оборот шпинделя и глубину резания в традиционных пределах. Это делается для исключения риска поломок режущего инструмента, который на автоматизированных станках в условиях многостаночного обслуживания особенно нежелателен.

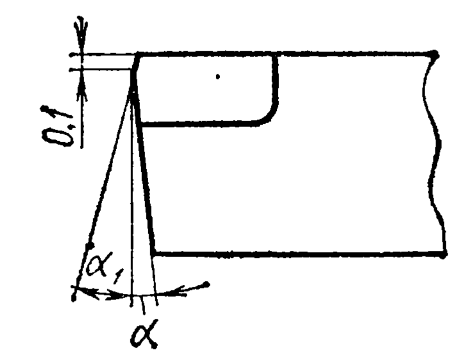
В процессе отладки программы необходимо проверить соответствие заложенных в управляющей программе режимов резания возможностям инструмента и станка, надежности закрепления заготовки, условиям благоприятного осуществления процесса резания (по отсутствию вибраций, характеру схода стружки).

Режущий инструмент может наложить ограничения из-за того, что ширина среза превысит длину режущей кромки инструмента. Другое ограничение связано с превышением усилий допустимой прочности режущей части и в более редких случаях прочности корпуса или других элементов инструмента.

Силовые возможности станка характеризуются мощностью главного привода и крутящим моментом на каждой ступени частот вращения шпинделя, тяговым усилием приводов подач и виброустойчивостью. Наладчик оценивает перегрузку станка по показаниям амперметров, резкому уменьшению частоты вращения и скорости перемещения, звуку.

При программировании сложно предусмотреть совмещение условий высокопроизводительной и в то же время безвибрационной обработки. Вибрации вредны, так как они разрушают инструмент, ослабляют крепление в приспособлении обрабатываемой заготовки, способствуют повышенному износу деталей и узлов станка. О возникновении вибраций можно судить по колебаниям частей станка и заготовки или характерному звуку различной тональности, на обработанной поверхности появляются следы «дробления».

Рис. 10. Виброгасящая фаска на задней поверхности инструмента:
α — задний угол



Наладчик при возникновении вибраций не имеет возможности без переработки управляющей программы изменить глубину резания — параметр, наиболее существенно влияющий на состояние виброустойчивости системы. Необходимо проверить и, по возможности, увеличить жесткость всех элементов системы СПИД. Начинать эту работу нужно с проверки жесткости крепления заготовки в приспособлении, самого приспособления, режущих инструментов и механизмов самого станка. При проверке станка следует обратить первоочередное внимание на зазоры в направляющих и шпиндельной опоре.

Погасить вибрацию можно изменением скорости резания и подачи. Наиболее часто вибрации возникают при срезании тонких стружек, поэтому самый простой прием гашения вибрации состоит в увеличении подачи на оборот. Возникновению вибрации способствует также очень острая кромка инструмента; при затуплении ее вибрации могут самопроизвольно прекратиться. Надежно гасит вибрации специальная фаска на режущей кромке, притупляющая лезвие (рис. 10). Эту фаску шириной около 0,1 мм выполняют на задней поверхности режущей части инструмента под углом $\alpha_1 = -15°$. Наладчик при необходимости может сделать эту фаску с помощью алмазного надфиля или абразивного бруска, не снимая инструмент со станка.

При токарной обработке и сверлении существенным показателем правильно выбранных режимов резания является характер схода стружки. Сливная стружка представляет угрозу для целостности режущего инструмента, так как не удаляется самостоятельно из зоны резания. При сливной стружке затруднено многостаночное обслуживание, нарушаются безопасные условия работы, так как оператор вынужден прерывать автоматический цикл и вручную удалять стружку непосредственно из зоны резания при вращающемся шпинделе станка. Удовлетворительной считается форма стружки, которая не удерживается на инструменте, не опутывает деталь и инструмент, не пакетируется в отверстии и не повреждает режущих кромок. Наилучшей по всем показателям является дробленая стружка.

Решать проблему стружкодробления можно тремя путями: изменениями движений рабочих органов, формой передней поверхности режущей части инструмента и режимами резания. Первый путь в основном не во власти наладчика. Он может только периодически с помощью кнопки «Стоп подачи» прерывать цикл и тем самым разрывать стружку. Наибольший интерес представляет дробление стружки с помощью правильно осуществленной заточки передней поверхности инструмента. Устойчивое стружко-

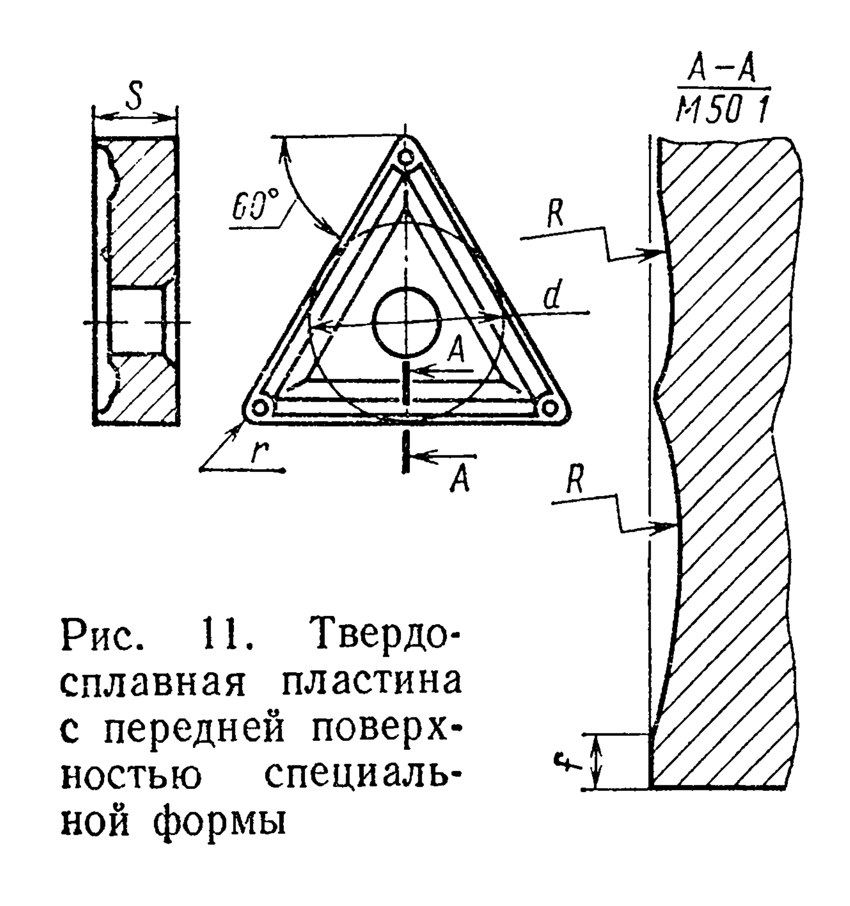


Рис. 11. Твердосплавная пластина с передней поверхностью специальной формы

дробление в большом диапазоне подач (0,12—1,0 мм/об) обеспечивают фаска *f* на передней поверхности режущей кромки и одна-две стружкодробящие лунки радиусом *R*, расположенные непосредственно за фаской (рис. 11). При отсутствии на инструменте описанной выше геометрии передней поверхности дробление стружки может происходить только при достижении некоторого критического значения произведения ширины на толщину стружки. В связи с этим дробление стружки можно получить увеличением подачи.

§ 12. КОРРЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Оценив ход выполнения и результаты обработки, наладчик дает заключение о корректировании, в случае необходимости управляющей программы. При этом могут измениться некоторые элементы технологического процесса: порядок выполнения переходов, базирование и закрепление заготовки, виды режущих инструментов, режимы резания и др. Обычно наладчик передает свои рекомендации программисту, который осуществляет корректирование управляющей программы. Изготавливают новую перфоленту и повторно проверяют программу. На станках, оснащенных устройствами ЧПУ третьего поколения, имеется возможность редактирования текста управляющей программы непосредственно на рабочем месте.

На пульте управления устройства ЧПУ мод. 2У32 (рис. 12) слева сверху в два ряда размещены лампы цифровой индикации *1*, справа сверху — лампы *2*, сигнализирующие об отказах и о выполнении различных режимов работы станка. Снизу под цифровой индикацией расположены кнопки ввода букв *8*, цифр *7* и символов *6*. Под сигнальными лампами *2* размещен набор кнопок-клавиш *3* с подсветкой, с помощью которых осуществляется управление станком и редактирование управляющих программ, а также кнопки «Пуск» *4* и «Стоп» *5*.

В режиме автоматической работы в каждом из двух рядов цифровой индикации *1* по выбору можно высветить команды по различным адресам, в режиме редактирования в верхнем ряду высвечивается то, что есть в управляющей программе, в нижнем ряду то, чем мы заменяем.

Пять (слева-направо) сигнальных ламп *2* загораются при сбоях и ошибках следующих устройств и механизмов: станок — устройство ЧПУ, устройство ввода управляющей программы, станок, приводы подач, перегрев устройства ЧПУ. Пять следующих сиг-

нальных ламп горят при нормальной отработке: идет подача, происходит выдержка времени, окончена отработка кадра (при полуавтоматическом режиме), окончена отработка программы; работа происходит в ручном режиме.

Набор кнопок-клавиш *3* образует пять горизонтальных рядов, обозначенных для удобства дальнейшего пояснения буквами *а—д*, и восемь вертикальных столбцов, обозначенных буквами *А—И*. Важнейшим является нижний ряд *а*, нажатием на кнопку-клавишу которого выбирают один из следующих режимов работы: диагностика (*Аа*), автоматическая работа (*Ба*), ручная работа (*Ва*), поиск кадра (*Га*), редактирование (*Да*), ввод в память (*Еа*), вывод из памяти (*Жа*), сброс (*Иа*). Одновременно может быть нажата только одна из кнопок нижнего ряда, т. е. работа может происходить только в одном режиме. Верхние кнопки работают только при нажатой нижней кнопке данного вертикального столбца, ими уточняют выбранный режим.

После нажатия кнопки *Аа* «Диагностика» можно поочередно опросить различные участки *П1* ... *П4* электронной системы станка. Режим автоматической работы (столбец *Б*) имеет дополнительные подрежимы «Полуавтомат» (кнопка (*Бб*), «Исключаемые кадры» (*Бв*), «Технологический останов» (*Бг*), «Бесконечный цикл» (*Бд*).

Кнопкой *Га* «Поиск» можно вызвать набранный кнопками ввода кадр, осуществить вызов кнопкой *Гг* начала программы или кнопкой *Гд* очередного главного кадра. Столбец *Д* содержит кнопки, с помощью которых осуществляется редактирование (см. ниже).

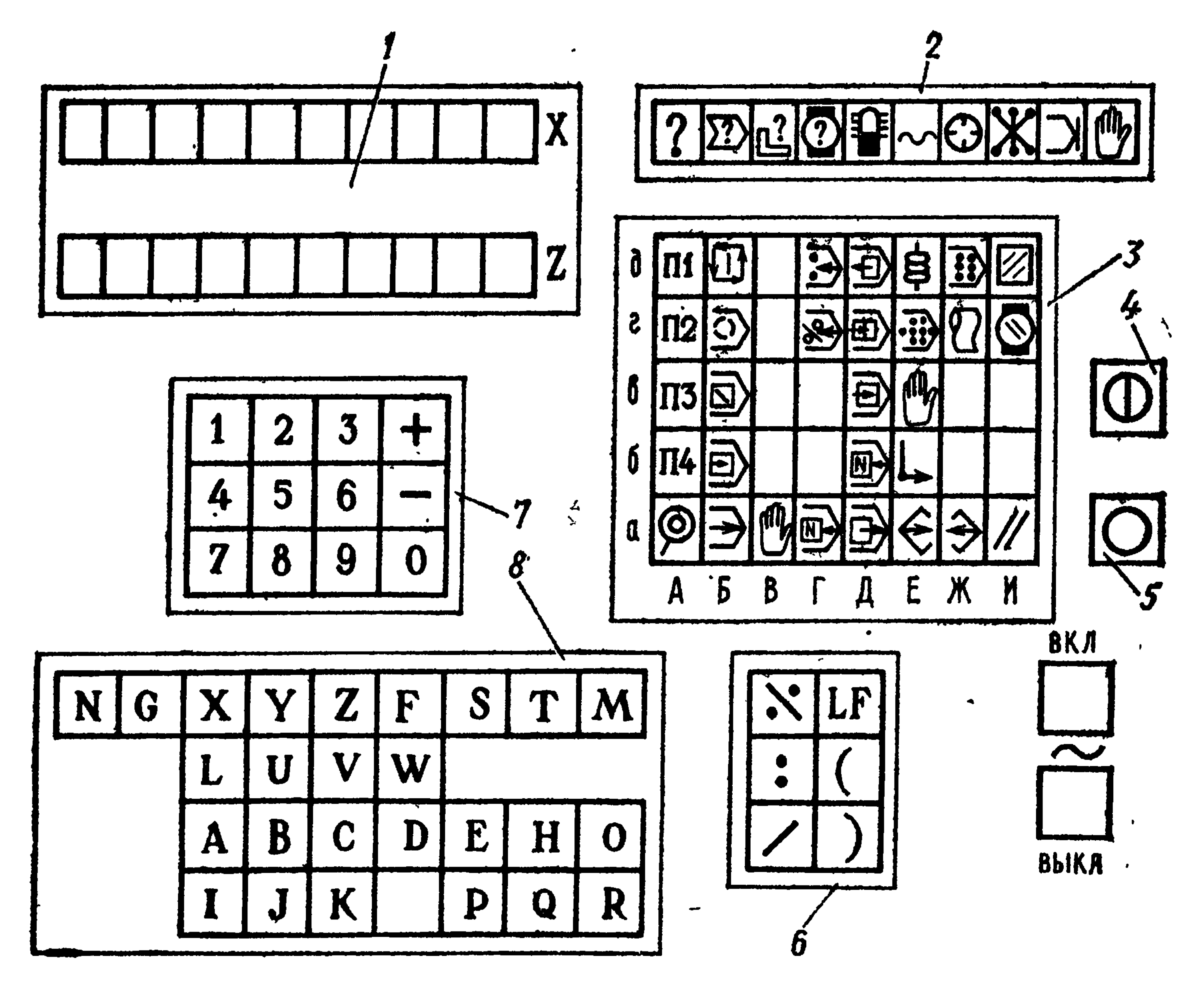


Рис. 12. Пульт управления устройства ЧПУ мод. 2У32

Кнопка *Еа* задает режим ввода в память. Кнопка *Еб* позволяет ввести любую численную величину в заданные управляющей программой корректоры положения инструментов. При нажатии кнопки *Ев* можно осуществлять режим ручного ввода. При нажатии кнопки *Ег* в память устройства ЧПУ записывается информация с перфоленты, при нажатии кнопки *Ед* запись идет от электронно-вычислительной машины (при управлении станком от единой ЭВМ).

Столбец *Ж* служит для задания режима вывода из памяти. В этом режиме можно пробить отредактированную перфоленту, подключив перфоратор при утопленной кнопке *Жд*, отпечатать текст управляющей программы, подключив печатную машинку при утопленной кнопке *Жг*.

Последний правый столбец *И* служит для установки информации устройства в исходное состояние и имеет кнопки *Иг* «Сброс приводов» и *Ид* «Сброс памяти». Кнопки-клавиши описанного набора *И* только задают режимы и подрежимы, а само выполнение команд осуществляется после нажатия кнопки *4* «Пуск».

Более подробно рассмотрим процесс редактирования управляющей программы (режим столбца *Д*). Кнопкой *Дб* можно вызванный из памяти и высвеченный в верхнем ряду цифровой индикации текст управляющей программы вернуть на одно слово назад к началу программы. Верхняя кнопка *Дд* означает «Исключить», следующая кнопка *Дг* «Заменить», кнопка *Дв* «Включить». Например, кадр № 47 управляющей программы имеет следующий вид: *N047G*01*X* + 004730*M*08*F*10152.

Наладчик пришел к выводу, что нужно изменить величину перемещения по адресу *X*, убрать команду на включение охлаждения *M*08, дополнить кадр командой на смену частоты вращения шпинделя *S*042. Кадр должен иметь вид *N*47*G*01*X* + + 004743*S*042*F*10152.

Редактирование следует выполнять по следующей схеме: 1) нажать кнопку-клавишу *Га*; 2) набрать кнопками *7*, *8* ввода команду *N*047, в нижнем ряду цифровой индикации высвечивается *N*047; 3) нажать кнопку *4* «Пуск», в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается *N*047; 4) нажать кнопку *Да* «Редактирование», подсветка кнопки *Га* гаснет; 5) нажать кнопку *4*, в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается следующее слово кадра *G*01; 6) нажать кнопку *4*, в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается следующее слово *X* + 004730; 7) нажать кнопку *Дг* «Заменить»; 8) набрать кнопками *7*, *8*, ввода команду *X* + 004743, в нижнем ряду цифровой индикации высвечивается *X* + 004743; 9) нажать кнопку *4*, в верхнем ряду цифровой индикации слово *X* + 004730 заменяется словом *X* + 004743, изменение в программе команды по адресу *X* произведено; 10) повторным нажатием выключить кнопку-клавишу *Дг* «Заменить», подсветка клавиши гаснет; 11) нажать кнопку *4*, в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается слово *M*08; 12) нажать кнопку-клавишу *Дд* «Исключить»; 13) нажать кнопку *4*, команда *M*08 исчезает на цифровой

индикации и стирается в памяти программы, высвечивается в верхнем ряду цифровой индикации *F*10152; 14) нажать кнопку-клавишу *Дб* «Возврат на одно слово»; 15) нажать кнопку *4*, в верхнем ряду цифровой индикации, загорается *X* + 004743; 16) погасить кнопку-клавишу *Дб* повторным нажатием; 17) нажать кнопку-клавишу *Дв* «Включить»; 18) набрать кнопками *7*, *8* ввода команду *S*042, команда высвечивается в нижнем ряду цифровой индикации; 19) нажать кнопку *4*, команда *S*042 высвечивается в верхнем ряду цифровой индикации и вводится в память программы; 20) нажать на кнопку-клавишу *Дб* и, последовательно нажимая на кнопку *4*, вернуть текст управляющей программы до *N*047; 21) погасить кнопку-клавишу *Дб* повторным нажатием; 22) поочередно нажимая на кнопку *4*, просмотреть в верхнем ряду цифровой индикации все слова исправленного кадра *N*047*G*01*X* + 004743*S*042*F*10152.

Переходами 1—3 был вызван из памяти 47-й кадр управляющей программы, переходами 6—9 была произведена замена команды по адресу *X*, переходы 11—13 обеспечили исключение команды *M*08, переходами 17—19 программа была дополнена командой *S*042, переходы 20—22 направлены на проверку правильности выполнения редактирования.

§ 13. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА НАЛАДЧИКА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ НАСТРОЙКЕ И РАБОТЕ СТАНКА

Функции наладчика широки и многогранны. Наряду с описанными выше работами по подготовке настройки и ее непосредственному проведению наладчик выполняет работы по уходу за оборудованием, проверке и профилактике состояния станка. Подробно эти фазы деятельности наладчика будут рассмотрены в гл. II и III.

На передовых машиностроительных предприятиях есть примеры коллективной организации труда на станках с ЧПУ, когда операторы и наладчики объединены в одну бригаду, наладчик одновременно является руководителем бригады и самым квалифицированным оператором. При коллективной форме труда облегчается организация многостаночного обслуживания, ускоряется приобретение профессиональных знаний и навыков молодыми рабочими. Здесь мы подошли к освещению новых сторон в деятельности наладчика как руководителя и воспитателя производственного коллектива и организатора технологического процесса. В сферу внимания наладчика входят такие вопросы, как организация работы без простоев обслуживаемого бригадой оборудования, материальное и моральное стимулирование труда членов бригады, социалистическое соревнование внутри бригады и с другими коллективами, качество выпускаемой продукции, планирование работы на предстоящий период, технологическая подготовка и обеспечение каждого рабочего места, передача опыта молодым рабочим, учеба, отдых и в целом социальное развитие возглавляемого им коллектива.

Различные организации исследовали условия труда операторов станков с ЧПУ и рабочих на станках с ручным управлением и установили, что труд на станках с ЧПУ за счет более благоприятных условий, снижения физической и психической утомляемости, повышения творческого начала полностью соответствует направлению на гармоничное слияние физического и умственного труда. В еще большей степени это относится к профессии наладчика станков с ЧПУ. В процессе настройки от него требуются большие технические знания, а также навыки в работе.

Процесс настройки станка требует от наладчика повышенного внимания, строгого соблюдения инструкций по настройке станка и правил техники безопасности. Общими для всех станков с ЧПУ являются следующие положения.

1. Перед нажатием кнопки «Пуск» удостовериться, в нужном ли положении находится переключатель режимов работы устройства ЧПУ.

2. Перед началом отработки программы с помощью кнопок «Сброс» произвести установку информации устройства ЧПУ в исходное состояние.

3. При временном прерывании автоматического цикла кнопки «Сброс» не нажимать.

4. При проверке новой программы вести работу в полуавтоматическом режиме, перед обработкой очередного кадра осмыслить предстоящие действия станка и проверить возможность безаварийного их осуществления. Обратить первоочередное внимание на направление предстоящего перемещения, затем на его величину и скорость.

5. При выполнении автоматического цикла следить, чтобы защитные кожухи ограждения были закрыты.

6. В случае непредусмотренных перемещений рабочих органов нажать кнопку «Стоп», в случае возникновения аварийной ситуации, требующей остановки шпинделя станка, нажать аварийную кнопку «Общий стоп».

7. При совместной настройке станка двумя лицами переключение и включение органов управления должен производить только один из участников процесса внедрения, предупреждая другого о производимых действиях.

8. При выполнении ремонтных работ и проверке действия и взаимодействия механизмов нельзя находиться в зоне перемещений рабочих органов.

На многооперационных станках разнообразие видов обработки вызывает разнообразие положений различных режущих инструментов и всевозможные взаимные перемещения в автоматическом режиме режущих инструментов, обрабатываемой детали и механизмов станка, которые могут оказаться совершенно неожиданными для обслуживающего персонала.

При работе по программе необходимо внимательно следить за состоянием режущих и вспомогательных инструментов и инстру-

ментальных гнезд магазинов, за исправностью всех устройств механизмов смены инструментов. Затупленный или неисправный инструмент следует немедленно заменить. Необходимо выявить причину отказов и сбоев в механизме смены инструментов и устранить неисправность.

При закладке инструментов в магазин особенно тщательно надо следить за соответствием расположения инструментов программе обработки. При кодировании номера гнезда магазина сверять правильность произведенной закладки, инструмента в гнездо соответствующего номера не только с картой наладки, но и текстом программы. При кодировании номера инструмента с помощью специального кодирующего устройства на инструментальной оправке необходимо проверить по карте наладки и тексту программы правильность настройки кодирующего устройства. Ошибка в размещении инструментов может привести к поломкам и авариям.

Новую управляющую программу, если она тщательно не проверена, желательно «проиграть» на холостом ходу станка, отодвинув инструмент от заготовки по оси Z (W), или обработать деревянный макет детали.

При возникновении в ходе работы сбоев даже случайного характера работу следует прекратить и вызвать специалиста по электронике для выполнения ремонтных работ.

Особая ответственность лежит на наладчике при устранении неисправностей в электрической или электронной системах станка в связи с тем, что могут произойти внезапные включения механизмов станка. При проведении таких работ следует извлечь инструменты из шпинделя и магазина и отвести стол и шпиндельную бабку на достаточное расстояние друг от друга.

При работе на станках с ЧПУ необходимо выполнять требования по технике безопасности и производственной санитарии, изложенные в «Правилах техники безопасности и производственной санитарии при холодной обработке металлов» и в «Общих правилах техники безопасности и производственной санитарии для предприятий и организаций машиностроения».

Применительно к станкам с ЧПУ отдельными предприятиями разработаны должностные инструкции по профессиям, учитывающие специфические условия работы и обслуживания данного вида оборудования. В этих инструкциях имеется раздел по технике безопасности.

Кроме того, необходимо соблюдать следующий порядок содержания оборудования, технологической и организационной оснастки на рабочем месте. До работы проверить исправность станка и исправность заземления; смазать станок согласно карте—схеме смазывания; ознакомиться с предстоящей работой и безопасными методами ее выполнения; проверить наличие и исправность технологической оснастки; удалить с рабочего места ненужные для работы предметы; выполнить пробное включение станка; проверить действия механизмов.

Во время работы установить и строго соблюдать порядок хранения технологической оснастки на рабочем месте; сохранять за оргоснасткой строго определенное место расположения; использовать технологическую оснастку по прямому назначению; своевременно удалять стружку со станка.

По окончании работы протереть технологическую оснастку и уложить каждый предмет на место, закрепленное за ним; убрать стружку и рабочее место; вычистить, протереть и смазать станок; сдать рабочее место сменщику или отключить станок от сети.

§ 14. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ СТАНКОВ С ЧПУ

Производительная эксплуатация станков с ЧПУ возможна при четко организованном инструментальном и ремонтном обслуживании станков, оперативном обеспечении станков технической документацией, рациональной организации рабочих мест.

Эффективность труда рабочих-станочников повышается при совмещении профессий и многостаночном обслуживании. Выполнение одним рабочим функций, относящихся к различным профессиям (совмещение профессий), — одно из средств более полного использования рабочего времени, уплотнения рабочего дня. Для операторов станков с ЧПУ расширение трудовых функций идет по направлениям обслуживания станков различных моделей и групп, а также выполнения станочниками функций наладчиков.

На рис. 13 приведена планировка рабочего места токаря при многостаночном обслуживании двух станков *2* с устройствами ЧПУ *1*. На рабочем месте расположена следующая оргоснастка: приемный столик с инструментальными ящиками *5*, стеллажи-подставки *4*, решетки под ноги *3*, предохраняющие обувь и ноги рабочего от мелкой стружки и холодного пола.

Приемный столик служит для хранения измерительного и слесарно-монтажного инструмента, технической документации, защитных очков и средств ухода за станком (масленки, совка, щетки-сметки). Для этого столик снабжен тремя ящиками. В каждый ящик встроены ложементы из дерева или полистирола, соответствующие конфигурации инструмента и способствующие закреплению мест хранения за определенным изделием. Стеллажи-подставки нужны для установки тары с заготовками и обработанными деталями.

Сверлильные и фрезерные станки устанавливают с учетом многостаночного обслуживания: минимальная норма обслуживания — два станка. На рабочем месте также размещают приемные столики с инструментальными ящиками, стеллажи с выдвижными платформами для приспособлений, стеллажи-подставки и решетки под ноги.

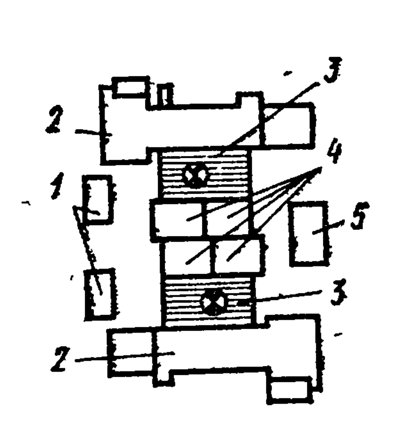


Рис. 13. Рабочее место токаря-оператора многостаночника

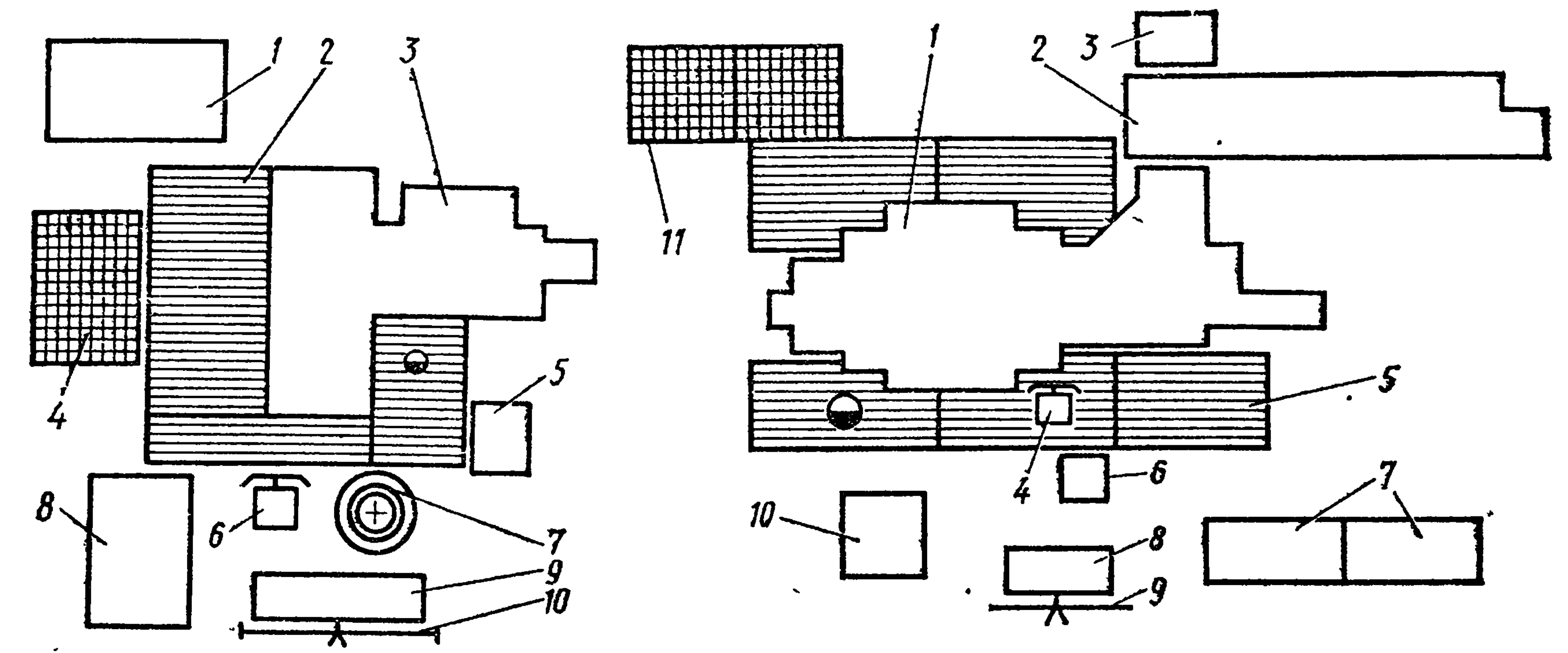


Рис. 14. Рабочее место расточника

Рис. 15. Рабочее место оператора многооперационного станка 2Б622МФ2

В ящиках приемного стола фрезеровщика хранятся измерительный и слесарно-монтажный инструмент, средства ухода за станком, а также выданная на рабочее место техническая документация. Из измерительных инструментов в обязательный комплект входят штангенциркуль, штангенглубиномер, металлическая измерительная линейка, набор щупов, прямоугольный поверочный угольник. В другом ящике хранится слесарный инструмент (молоток, ключи гаечные, отвертка, шаберы, набор напильников) и стандартные элементы станочных приспособлений (прихваты, шайбы, опоры, гайки, болты, шпильки, шпонки в станочные пазы). В третьем ящике уложены средства ухода за станком, а также имеется ячейка для размещения документации.

Несколько иначе выглядит планировка рабочего места расточника (рис. 14). На малом удалении от горизонтально-расточного станка *3* с ЧПУ и устройства ЧПУ *5* размещают на рабочем месте инструментальную тумбочку *9*, стойки для инструментов *7*, подъемно-поворотный стул *6*, приемный стол *8*, планшет *10* для подвешивания чертежей и другой документации, подставку *4* под корпусные детали, стеллаж *1* с выдвижной платформой для приспособлений и решетки *2* под ноги.

Стойка для инструментов *7* смонтирована на поворотной оси, имеет три-четыре независимо или совместно вращающиеся части с гнездами под наборы вспомогательных и режущих инструментов. Гнезда имеют резиновую или пластмассовую облицовку.

На рабочем месте (рис. 15) многооперационного станка *1*, оснащенного инструментальным магазином на 100 инструментов, (для примера взят станок 2Б622МФ2), размещают оргоснастку, совпадающую во многом с описанной выше оснасткой для расточного станка. Нет необходимости в поворотном стеллаже для инструментов.

Двухсекционная инструментальная тумбочка *8* с планшетом *9* служит для хранения измерительного, слесарно-монтажного ин-

струмента и технической документации. В двух ящиках хранят техническую документацию, защитные очки, переносную электролампу и личные вещи оператора. В двух других размещают измерительный инструмент постоянного пользования, аналогичный тому, который имеется у фрезеровщика, и дополнительно индикаторную стойку с магнитным основанием и набор плоскопараллельных концевых мер. В пятом и шестом ящиках размещен слесарный инструмент, остальные четыре отведены под элементы станочных приспособлений и средства ухода за станком.

Вокруг рабочего места станка установлен помост *5* на высоту станины. Для подъема на помост предусмотрены ступеньки, а около стула *4* — поручни. Не поднимаясь со стула, оператор может управлять станком как с пульта, размещенного на станке *1*, так и с пульта *6* устройства ЧПУ. Приемный стол *3* служит для установки комплектовочной тары с инструментом в процессе зарядки и перезарядки магазина *2*. К электрошкафам *7* имеется удобный доступ для выполнения технического обслуживания. Доставленные на рабочее место зажимные приспособления предварительно устанавливают на подставку *10*, а заготовки — на подставку *11*.

Современные методы организации производства исходят из того, что оборудование должно работать в течение смены без простоев. Этого можно достичь, если оператор не будет отвлекаться от выполнения своих основных функций. Должна быть организована своевременная без участия оператора доставка к станку на рабочее место следующих компонентов производственного процесса: настроенных на размер инструментов, заготовок, крепежных приспособлений, технической документации, программоносителей, масла для смазки и гидросистем, охлаждающей жидкости. С рабочего места необходимо систематически удалять стружку, а по завершении обработки партии — готовые детали, отработавшие режущие и вспомогательные инструменты, приспособления, техническую документацию, программоносители. Требуют периодической замены отработавшие ресурс охлаждающие жидкости и масла.

Доставку к станку и удаление от него перечисленных выше компонентов должны выполнять соответствующие службы предприятий. Наивысший эффект достигается при механизации и автоматизации этих работ, что осуществляется на автоматизированных участках из станков с ЧПУ, управляемых от ЭВМ. Дополнительное преимущество заключается в оптимизации хода производства, так как ЭВМ, взяв на себя функции планирования, диспетчирования и учета, следит в том числе за своевременностью доставки к рабочему месту и удаления от него необходимых и отработавших компонентов производственного процесса.

Доставка должна быть осуществлена заблаговременно до начала настройки, еще в то время, когда идет обработка предшествующей партии деталей. Только при этом условии можно избежать перерывов в выполнении работ. Следовательно, на рабо-

чем месте должны быть размещены как минимум три ящика: для обрабатываемых заготовок, обработанных деталей и для заготовок, которые будут обрабатываться после перенастройки станка. Также должны быть предусмотрены места для размещения оснастки, необходимой для предстоящей настройки.

§ 15. ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ НА НАСТРОЙКУ СТАНКОВ

Время настройки станков на обработку партии деталей является подготовительно-заключительным временем $T_{пз}$, не зависящим от величины партии деталей. Разработанные Рязанским филиалом НПО Оргстанкинпрома «Нормативы времени на наладку станков с ЧПУ» рассчитаны на централизованную систему обеспечения рабочих мест заготовками, оснасткой, технической документацией, программоносителями. Предполагается, что настройка станков выполняется по отработанным и внедренным управляющим программам, т. е. нормативы не предусматривают затрат времени на редактирование программ непосредственно на рабочем месте.

Подготовительно-заключительное время

$$T_{пз} = T_{пз_1} + T_{пз_2} + T_{пз_3},$$

где $T_{пз_1}$ — время на обязательные приемы; $T_{пз_2}$ — время на дополнительные приемы; $T_{пз_3}$ — время пробной обработки детали.

Время $T_{пз_1}$ — необходимые затраты времени при каждой настройке на выполнение работ, обязательных для станков с ЧПУ любых типоразмеров. К ним относятся следующие работы: настройка нуля программы; установка программоносителя в считывающее устройство; проверка программоносителя в режиме «Проверка ленты» или «Ускоренная отработка», а также установка и снятие зажимного приспособления (для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы) или смена и растачивание патронов, замена инструментов (для токарных станков).

Для примера в табл. 2 и 3 приведена выборка для некоторых моделей станков.

Дополнительные приемы, определяющие $T_{пз_2}$, применяют при необходимости. Их делят на две группы: к первой относятся общие приемы для всех типов станков, ко второй — специфические, присущие отдельным видам с ЧПУ. Для сверлильных, расточных и многооперационных станков затраты времени на выполнение некоторых из общих приемов зависят от степени сложности (простая, средняя и сложная) обрабатываемой детали, которую определяют исходя из числа режущих инструментов, используемых для обработки, и квалитета точности обрабатываемых поверхностей (рис. 16).

В табл. 4 приведены перечень дополнительных приемов, общих для всех типов станков, и затраты времени на их выполнение.

2. Время $T_{пз_1}$ на обязательные приемы при настройке расточных станков, мин

Способ установки и закрепления заготовки	Настройка нуля программы					
	по боковой поверхности			по отверстию		
	2611Ф2	2А622Ф2	2636ГФ2	2611Ф2	2А622Ф2	2636ГФ2
На столе болтами и планками	8,2	8,3	11,0	9,7	11,3	13,5
В приспособлении с установкой: вручную	8,7	9,5	12,5	10,2	12,5	15,0
краном	11,2	12,5	15,5	12,7	15,5	18,0

Кроме перечисленных в табл. 4 приемов имеются специфические дополнительные приемы, присущие отдельным видам станков с ЧПУ. Так, для расточных станков добавляется поворот стола на 90° — 0,4—0,6 мин (большие затраты времени для более тяжелых станков), установка оправки с режущим инструментом в поворотный стеллаж — 0,2 мин. Для токарного станка 16К20Ф3 затраты времени на выполнение специфических дополнительных приемов следующие: сместить заднюю бабку — 0,2 мин, расточить сырые кулачки — 5,0 мин, расточить каленые кулачки — 7,0 мин, заменить торцовые упоры зажимного устройства — 2,0 мин, заменить задний центр — 0,3 мин, заменить зажимное устройство 6,0 мин.

При настройке сверлильных станков такими приемами являются следующие: настроить зажимное приспособление — 3 мин, сменить режущий инструмент в головке — 0,3 мин, настроить резьбонарезное устройство — 3 мин, настроить один режущий инструмент по оси Z — 1 мин.

Время $T_{пз_3}$ пробной обработки детали образуется как сумма затрат времени на обработку детали по программе (время цикла) и на выполнение приемов, связанных с пробными проходами и контролем точности, подсчетами величин коррекции, набором этих величин

Рис. 16. Определение степени сложности обрабатываемой детали

3. Время $T_{пз_1}$ на обязательные приемы при настройке токарных станков, мин

Способ установки и закрепления заготовки	Число инструментов, шт.	Модель станка		
		16Б16Ф3	16К20Ф3	16К30Ф3
В трехкулачковом быстропереналаживаемом патроне типа ПЗК	2 4 6	5,0 6,4 —	4,8 6,0 7,2	7,2 10,9 —
В трехкулачковом патроне с ручным зажимом и в инерционном патроне	2 4 6	5,2 6,6 —	5,0 6,2 7,4	7,5 11,1 —

4. Часть времени $T_{пз_2}$ на дополнительные приемы, общие для всех типов станков, мин

Приемы	Сверлильные, расточные, многооперационные	Токарные
Получить и сдать наряды, технологическую документацию	2	
Ознакомиться с чертежом и технологической документацией, осмотреть заготовки; для степени сложности детали:		
простой	1,5	
средней	2	4
сложной	3	
Инструктаж мастера: для степени сложности детали:		
простой	1,5	2
средней	1,5	
сложной	2	
Получить и сдать приспособление и инструменты в количестве:		
до 20 шт.	5	7
св. 20 шт.	7	
Разложить и убрать инструменты	2	2

на декадных переключателях и другими действиями по управлению станком.

Время пробной обработки можно определить по таблицам нормативов в зависимости от времени цикла обработки по программе, числа используемых режущих инструментов, числа точных (точнее 9-го квалитета) поверхностей или по формуле.

Для токарных станков

$$T_{пз_3} = t_ц + 0{,}85\,(K + a),$$

где $t_ц$ — время цикла обработки детали по программе; K — число инструментов в наладке; a — число проверяемых диаметральных размеров обрабатываемых поверхностей.

Нормативы времени на настройку станков с ЧПУ назначают исходя из средней квалификации и среднего темпа работ наладчика без физической и нервной перегрузок. Наладчик высокой квалификации может выполнить весь объем работ по настройке за меньшее время.

Другой путь повышения производительности труда при настройке заключается в использовании групповых методов обработки, при которых уменьшаются все три составляющие подготовительно-заключительного времени в связи с тем, что оснастка и инструмент, используемые при обработке одних партий деталей, сохраняются для последующих партий деталей других наименований.

На некоторых предприятиях используют упрощенную методику подсчета времени настройки станков по формулам, устанавливающим зависимость $T_{пз}$ (мин) от числа инструментов K (шт.) и продолжительности времени цикла $t_ц$ (мин):

для сверлильных станков $T_{пз} = 28 + 0{,}25K + t_ц$;

для расточных $T_{пз} = 47 + K + t_ц$;

для фрезерных $T_{пз} = 36 + K + t_ц$;

для токарных $T_{пз} = 24 + 3K + 1{,}5t_ц$ — при обработке первой стороны детали и $T_{пз} = 36 + 3K + 1{,}5t_ц$ — при выполнении второй и третьей операции, в ходе которых обычно обрабатывают более точные поверхности.

Глава II

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

§ 1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Сохранение показателей технического уровня станков, гарантируемых заводами-изготовителями, невозможно без четкого соблюдения заводами-потребителями комплекса требований к эксплуатации оборудования и осуществления рациональной системы технического обслуживания и ремонта. Осуществление таких требований позволяет свести к минимуму как сумму затрат на ремонт и техническое обслуживание, так и потери производства, связанные с простоями оборудования из-за его неисправности.

К техническому обслуживанию относятся работы по поддержанию работоспособности станков и машин при хранении, транспортировании, подготовке к использованию и эксплуатации. Техническое обслуживание включает в себя также надзор за правильным оборудованием помещения, в котором станок будут эксплуатировать. Наряду с плановыми обязательными работами в техническое

обслуживание входят также работы, выполняемые при возникновении случайных отказов. Работы по восстановлению исправности оборудования называют ремонтом.

Различные виды работ по техническому обслуживанию механической, электрической и электронной частей станка выполняют слесари-ремонтники, электрики, электронщики, операторы, смазчики. Наладчик должен уметь выполнять все виды работ по плановому и неплановому техническому обслуживанию, которые возложены на перечисленный персонал.

Плановый осмотр (*О*) выполняют для проверки состояния узлов и устройств станка, получения и накопления информации об износе деталей и изменения характера их сопряжений, необходимой для подготовки предстоящих ремонтов. Плановый осмотр осуществляется через определенное число часов работы станка, как правило, визуально без разборки узлов. При осмотре устраняют мелкие неисправности.

При ежесменном осмотре ($О_е$) выявляют изменения в наиболее ненадежных деталях и сопряжениях деталей и предотвращают отказы их в работе. Этот вид обслуживания выполняют без остановки оборудования. Периодический частичный осмотр ($О_ч$) осуществляют с той же целью, что и ежемесячный осмотр ($О_м$), но осматривают более широкий круг деталей и сопряжений.

Чрезвычайно важна для станков с ЧПУ периодическая очистка от пыли электрической ($Ч_э$) и электронной ($Ч_с$) частей оборудования, предотвращающая замыкания и утечки тока через пылевые перемычки и возможность несчастных случаев в связи с механическим повреждением проводов и цепей заземления, покрытых слоем пыли.

По окончании смены станок и устройство ЧПУ должны быть тщательно очищены и обтерты, а наружные поверхности трения смазаны маслом.

Регулировку механизмов, замену быстроизнашивающихся деталей и подтяжку крепежа ($Р_м$) выполняют для поддержания первоначальной производительности, точности и безопасности условий работы на станке, ухудшающихся по мере износа и деформации отдельных деталей и элементов, а также для предупреждения прогрессирующего износа, предотвращения поломок деталей и повреждения с ними сопряженных.

При проверке геометрической и технологической точности ($П_т$) контролируют нормы точности станка, а также детали, обработанные на станке. Рациональное техническое обслуживание замедляет процесс приближения предельного состояния, при котором продолжение эксплуатации становится невозможным, неэффективным или опасным для окружающих, т. е. момента, когда наступает необходимость в ремонте станка для восстановления его исправности и работоспособности. О приближении предельного состояния деталей механической части станка можно судить по признакам, обнаруживаемым визуально или с помощью

контрольно-измерительной аппаратуры. При обнаружении состояния деталей, близкого к предельному, детали следует заменять, не ожидая выхода их из строя. Так же нужно поступать с подвижными деталями электроаппаратов. Однако некоторые электронные устройства не проявляют видимых признаков приближения предельного состояния, в связи с чем их чаще всего меняют после выхода из строя.

Принятая в настоящее время система технического обслуживания и ремонта предусматривает в связи с повышением долговечности станков переход при планировании ремонтов от применяемой ранее трехвидовой структуры ремонтного цикла, включавшей капитальный, средний и малый ремонты, к двухвидовой структуре, включающей только капитальный и текущий ремонты.

Текущий ремонт (ТР) — это плановый ремонт, выполняемый с целью гарантированного обеспечения работоспособности оборудования до следующего ремонта и состоящий из замены или восстановления деталей с необходимым для этого объемом разборочных, сборочных и регулировочных работ.

Капитальный ремонт (КР) — это плановый ремонт, выполняемый с целью восстановления исправности и гарантированного обеспечения работоспособности до следующего капитального ремонта, заключающийся в восстановлении полностью израсходованного ресурса оборудования.

К комплексу работ по восстановлению работоспособности оборудования относится также аварийный ремонт (АР), вызванный дефектами конструкции и изготовления станков или нарушением правил их технической эксплуатации.

Все работы по плановому техническому обслуживанию и ремонту нужно выполнять в определенной последовательности, образуя повторяющиеся ремонтные циклы. Ремонтный цикл завершается капитальным ремонтом и характеризуется структурой и продолжительностью.

Структура ремонтного цикла — это перечень ремонтов, входящих в состав цикла в последовательности их выполнения (табл. 5).

Продолжительностью ремонтного цикла T называют часы работы станка, на протяжении которых выполняют все ремонты, входящие в состав цикла. Продолжительность ремонтного цикла, ч

$$T = 16800 K_и K_м K_т K_{к.с} K_в,$$

где $K_и$, $K_м$, $K_т$, $K_{кс}$, $K_в$ равны 1 при обработке лезвийным инструментом деталей из конструкционной стали на станках нормальной точности массой до 10 т при первом—третьем ремонтном цикле.

При работе абразивным инструментом $K_и = 0{,}8$; при обработке деталей из неконструкционных материалов $K_м = 0{,}75$; для станков класса точности П $K_т = 1{,}6$, а для станков класса точности В и А $K_т = 2{,}0$; при массе станка 10—100 т $K_{к.с} = 1{,}35$; при четвертом-пятом ремонтном цикле $K_в = 0{,}9$, при последующих циклах $K_в = 0{,}8$.

5. Структура ремонтного цикла станков с ЧПУ

Класс точности станка	Структура ремонтного цикла при массе станков до 10 т	Число текущих ремонтов в цикле	Число плановых осмотров в цикле
Н	КР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—КР	4	5
П, В, А	КР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—ТР—О—КР	8	9

Примечание. При массе станков свыше 10 т число плановых осмотров в цикле удваивается.

По приведенной формуле подсчитывают сумму штучно-калькуляционного времени обработки деталей до остановки станка на плановый ремонт.

Межремонтный период — это период времени работы оборудования между двумя последовательно выполняемыми плановыми ремонтами, продолжительность межремонтного периода равна продолжительности ремонтного цикла, деленной на число текущих ремонтов в цикле плюс единица.

Для расчета объема ремонтных работ станков применяют специальную единицу. Ей присвоено наименование *единицы ремонтосложности*. Различают единицы ремонтосложности механической и электрической частей. Единица ремонтосложности механической части — это физический объем работ, необходимый в организационно-технических условиях среднего ремонтного цеха машиностроительного предприятия для капитального ремонта механической части некоторой условной машины, трудоемкость которого эквивалентна 50 ч работы (36 ч слесарных и 14 ч станочных работ). Единица ремонтосложности электрической части аналогична по смыслу и содержанию единице ремонтосложности механической части, но трудоемкость эквивалентна 12,5 ч работы.

6. Ремонтосложность некоторых станков с ЧПУ

Станок	Модель	Ремонтосложность части станка	
		механической $R_м$	электротехнической без устройства ЧПУ $R_э$
Токарный патронно-центровой	16К20Ф3С5	12,0	21
Токарный центровой	1А616Ф3	10	11,5
Вертикально-фрезерный	6Р11Ф3	16	20
Вертикально-фрезерный	654Ф3	35	50
Вертикально-сверлильный	2Р135Ф2	50	31
Токарно-карусельный	1512Ф2	35	48

Объем работ, подлежащих выполнению при капитальном ремонте механической и электрической частей станка и оцениваемый числом единиц ремонтосложности, называют ремонтосложностью (категорией сложности ремонта) и обозначают соответственно $R_м$ и $R_э$ (табл. 6).

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, ПОСТАВЛЯЕМАЯ СО СТАНКОМ

С каждым станком завод-изготовитель отправляет заказчику комплект технической документации, именуемый «Руководством по эксплуатации». Руководство хранят в непромокаемом пакете из полиэтиленовой пленки и при упаковке станка в несколько ящиков, находится в ящике № 1.

«Руководство по эксплуатации» — документ, содержащий описание устройства и принципа работы станка, а также сведения по его эксплуатации и удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем основные параметры и технические характеристики станка.

Руководство состоит из трех основных разделов: технического описания; инструкции по эксплуатации; паспорта.

В раздел «Техническое описание» входят следующие подразделы: назначение и область применения; состав станка; устройство и работа станка и его составных частей; электрооборудование; гидросистема и пневмосистема; система смазки.

Второй раздел руководства «Инструкция по эксплуатации» состоит из восьми подразделов: указания мер безопасности; порядок установки станка; настройка и наладка; регулирование; особенности разборки и сборки при ремонте; схема расположения подшипников; материалы по быстроизнашиваемым деталям; инструкция по подготовке управляющих программ и тестпрограммы для проверки станка.

Третьим разделом руководства является паспорт станка. Паспорт содержит следующие подразделы: основные технические данные и характеристики; комплект поставки; свидетельство о приемке; гарантии.

Подраздел «Основные технические данные и характеристики» отражает возможности станка, класс его точности, габаритные размеры и массу. Основные возможности станка определены видом выполняемых работ и размерами обрабатываемых деталей. Обязательными данными подраздела являются наибольшие размеры и масса обрабатываемых деталей, характеристика приводов главного движения и подач.

В паспорте приведены иллюстрации, отражающие базовые и присоединительные поверхности, необходимые для проектирования технологической оснастки, а также показано рабочее пространство с крайними положениями подвижных органов, перемещающихся кожухов и др. Важным разделом паспорта является свидетельство о приемке. В нем записывают допуски и фактические

7. Свидетельство о приемке станка ИР500МФ4 (выписка)

Номер проверки	Метод проверки	Что проверяют	Отклонение, мкм	
			допускаемое	фактическое
1.1	На рабочей поверхности стола устанавливают и выверяют относительно хода поверочный куб или угольник. На шпинделе укрепляют индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался боковой поверхности куба, отклонение определяют как наибольшую разность показаний индикатора на длине перемещения стола и стойки	Перпендикулярность направления поперечного перемещения стола к продольному перемещению стойки по станине на всей длине хода	16	
1.2	На рабочей поверхности стола устанавливают поверочный куб. На шпинделе укрепляют индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался горизонтальной поверхности куба. Стол и стойку перемещают на длину хода	Параллельность рабочей поверхности стола по отношению к перемещению: стола по станине стойки по станине	 16 16	
1.4	На неподвижной части станка укрепляют индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался образующей оправки, плотно вставленной в отверстие шпинделя	Радиальное биение шпинделя: у торца на длине 300 мм	 10 12	
1.9	Образцовую штриховую меру устанавливают на столе станка. Микроскоп укрепляют в шпинделе станка. Проверяемый подвижный узел перемещают по программе с интервалом 50 мм с остановкой для снятия показаний. Измерение повторяют не менее 5 раз	Точность линейных координатных перемещений при автоматической установке: стола шпиндельной бабки стойки	 18 15 22	
1.10	Подвижный узел устанавливают в исходное положение, фиксируемое микроскопом по образцовой штриховой мере. Узлу сообщают перемещение на 10—20 единичных импульсов в том же направлении, что и подход к исходному положению, а затем в обратном. С помощью микроскопа и линейки фиксируют величину неотработанного перемещения	Зона нечувствительности при перемещении: стола шпиндельной бабки стойки	 6 6 15	

отклонения от заданных требований норм точности и жесткости станка.

В качестве примера в табл. 7 приведена выборка из свидетельства о приемке многооперационного сверлильно-фрезерно-расточного станка ИР500МФ4.

Нормы точности нового станка при проверке на заводе-потребителе должны соответствовать фактическим данным, полученным на заводе-изготовителе при испытании, а в период последующей многолетней эксплуатации отклонения не должны выходить за пределы допускаемых значений.

В последнем подразделе паспорта установлены обязательства завода-изготовителя безвозмездно заменять или ремонтировать вышедший из строя в гарантийный период станок при соблюдении потребителем условий эксплуатации, транспортирования и хранения станка. Обычно срок гарантии составляет 18 месяцев. Начало гарантийного срока исчисляют со дня пуска станка в эксплуатацию, но не позднее 6 месяцев с момента прибытия на действующие и 9 месяцев на вновь строящиеся предприятия.

В наружном конверте ящика № 1 (иногда внутри ящика) есть упаковочный лист, в котором перечислены наименования и число поставленных агрегатов, отсоединенных узлов, изделий, приборов, инструментов, приспособлений, руководств, инструкций и указан номер ящика, в котором они размещены.

§ 3. ПОДГОТОВКА СТАНКА К ЭКСПЛУАТАЦИИ

Первоначальный этап подготовки станка к эксплуатации может быть разделен на следующие подэтапы: оборудование помещения; транспортирование, распаковка, расконсервация; установка на фундамент; подготовка к пуску; первоначальный пуск; устранение выявленных при пуске станка недостатков в работе; проверка на холостом ходу; проверка в работе.

Для длительного сохранения станками первоначальных технических показателей их устанавливают в закрытых отапливаемых помещениях, которые обеспечивают защиту от атмосферных осадков и внешних источников запыления, а также поддержание температуры в пределах 20 °С с колебаниями ±10 °С для станков класса точности Н, ±5 °С для станков точности П, ±2 °С для станков точности В, ±1 °С для станков точности А.

Станки класса Н и П можно устанавливать в общих помещениях. Станки, работающие абразивным инструментом без охлаждения, желательно устанавливать отдельно от станков, работающих лезвийным инструментом. Для поддержания чистоты воздуха помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с пылеочистительным фильтром.

Выход из помещения делают через тамбур с двойными закрывающимися воротами и самозакрывающимися дверьми для прохода людей. Окна лучше всего иметь с северо-западной, северо-восточной и северной стороны. В прецизионных помещениях окна

с северо-восточной стороны должны быть оборудованы жалюзями, исключающими попадание на станки и шкафы устройств ЧПУ прямых солнечных лучей.

Обычно один станок, даже если он не разобран на несколько частей, занимает несколько ящиков. В отдельной упаковке от станка находятся шкафы, гидростанция, оснастка, инструмент, запасные части и приспособление для настройки инструментов. На каждом ящике проставлен номер, а через дробь — число ящиков упаковки. Например, если ящик помечен номером 2/3, то это значит, что ящик имеет порядковый номер 2, а общее число ящиков, в которые упакован данный станок, равно 3. Распаковку станка следует начинать с ящика номер 1, в котором находится сопроводительная документация, для того чтобы не произвести до ознакомления с правилами распаковки и транспортирования станка никаких неправильных действий. Несоблюдение указаний по транспортированию станка, невнимательное или пренебрежительное отношение к ним могут привести к тяжелым повреждениям станка, к выводу его из строя на длительное время или к потере точности. Последствия таких нарушений особенно неблагоприятны, так как в этом случае заводы-изготовители снимают с себя гарантийные обязательства.

При распаковке ящиков следует вначале снять крышку, затем отделить боковые щиты. Можно также краном снять крышку ящика вместе с боковыми щитами. Поднимать станки разрешается тросами и канатам (не цепями). В местах соприкосновения тросов с частями станка следует проложить специальные защитные матерчатые валики. Угол между тросами не должен превышать 30°. Распаковывать устройства ЧПУ в зимнее время следует через сутки после того, как они поступили в помещение с комнатной температурой. Зачаливание электрических шкафов и устройств ЧПУ нужно производить за рым-болты, как правило отверстия под них имеются на верхней плоскости шкафов.

Тяжелые станки устанавливают на специальные фундаменты, а более легкие — непосредственно на бетонный пол цеха. Фундамент распределяет весовую нагрузку станка через нижнюю площадь на грунт. Обладая большой массой, фундамент гасит вибрацию и, будучи жестко соединен со станиной, увеличивает общую жесткость системы. Неправильная конструкция или неверное изготовление фундамента приводит к возникновению вибраций или к смещению станка на фундаменте и, в конечном итоге, к потере геометрической точности.

При устройстве бетонного фундамента станок может быть установлен на нем не ранее, чем через 7 дней после окончания укладки бетона, а пуск станка разрешается на 22-й день. При необходимости ускорения пуска станка применяют быстросхватывающийся цемент. Надзор за осадкой свежего фундамента необходимо вести не менее 6 месяцев с момента установки на нем станка. С целью защиты фундамента от разрушения смазочными маслами

его верхнюю поверхность покрывают цементным раствором с жидким стеклом. Если необходимо виброизолировать бетонный фундамент, его со всех сторон окружают слоем пробковой крошки, торфа, шлака или шлаковаты толщиной 50—100 мм.

Виброизоляцию станков с достаточно жесткой станиной можно обеспечить установкой их на упругих опорах, например виброопорах или виброизоляторах (профильных резиновых ковриках) непосредственно на бетонном полу цеха. Виброизолирующие опоры уменьшают трудоемкость монтажа и перестановки станков, снижают динамическую нагрузку на несущие конструкции зданий. Основание под устройством программного управления не должно передавать на него вибрации от работающего вблизи оборудования.

Анкерными болтами крепят к фундаменту станки, имеющие возвратно-поступательное движение узлов. Болты подливают цементным раствором, к пуску закрепленных таким образом станков следует приступать не ранее, чем через 72 ч после заливки.

Консервацию (защитное антикоррозийное покрытие), нанесенную на заводе-изготовителе в виде смазки на обработанные поверхности станка, удаляют техническими салфетками, смоченными в керосине. Затем металлические поверхности необходимо смазать тонким слоем масла.

Работы по соединению отдельных частей станка специфичны для каждой модели, и их нужно выполнять в строгом соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Вначале соединяют механические узлы, затем пристыковывают узлы пневматики и гидравлики, стыкуют электрические шкафы и электронные устройства. После этого станок заземляют и подключают его к четырехпроводной трехфазной сети переменного тока напряжением 380 или 220 В в зависимости от заказа (с колебаниями +10 ... —15 %), частотой 50 ± 1 Гц. Неправильно выполненное заземление может явиться источником помех в работе устройства ЧПУ. Общим правилом для станков с ЧПУ является соединение всех заземляющих проводников в одну точку, которую, в свою очередь, соединяют с заземляющим контуром цеха. Сопротивление контура не должно превышать 4 Ом. Питание устройства ЧПУ в целях повышения помехоустойчивости можно осуществить от отдельного мотор-генератора или силового трансформатора.

После установки и подключения необходимо внимательно осмотреть все доступные места. Необходимо убедиться в отсутствии повреждений и коротких замыканий, проверить чистоту емкостей для масла, надежность соединений трубопроводов. Если в каком-то из резервуаров сохранилось заводское масло, то рекомендуется установить марку масла, подтвердить отсутствие примесей и влаги в нем. Категорически запрещается смешивать разные сорта масел путем доливания в емкость нового масла, так как смесь многих масел подвержена свертыванию. Все индивидуальные точки смазки необходимо заполнить маслом в соответствии с картой и схемой смазки. Не следует спешить с пуском станка,

если он недавно переставлен в закрытое помещение, так как необходимо дать время для просушки изоляции обмоток двигателей и проводов. Минимальный срок различен в зависимости от влажности воздуха и времени года. Летом в сухую погоду наименьшее время должно быть примерно равно суткам, а наибольшее — до трех суток зимой в сырую погоду.

§ 4. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЙ ПУСК СТАНКА

Первоначальный пуск станка требует повышенного внимания. С помощью специальных ключей необходимо проверить легкость ручного перемещения рабочих органов. Установить все органы управления на пультах в исходное положение: все кнопки не нажаты, тумблеры в среднем положении, на декадных переключателях устройства ЧПУ нули. Проверить положение кулачков аварийного ограничения перемещений рабочих органов. На клеммных наборах в шкафу управления отключить провода питания всех электродвигателей. Включить вводной автомат и все защитные автоматы в шкафу управления. Проверить действие блокирующих и сигнализирующих устройств шкафа управления. С помощью кнопок и переключателей станка и устройства ЧПУ проверить четкость срабатывания магнитных пускателей и реле. Восстановить подключение к клеммным наборам ранее отсоединенных проводов.

Следует включать последовательно на короткое время системы и устройства, при этом наблюдать, правильно ли действуют механизмы, в том ли направлении вращаются электродвигатели, поступает ли смазка во все точки, не перегреваются ли электрические, механические, гидравлические узлы, каковы показания контрольно-измерительных приборов.

Дефекты в работе механизмов и устройств проявляются в виде шума, вибраций, стука, самопроизвольного переключения или выключения, излишнего нагрева подшипников, зубчатых передач, электродвигателей и электроаппаратуры, неравномерности вращения и перемещения, качки. Крупные дефекты устраняют наладчики завода-изготовителя. Если недостатки могут быть ликвидированы в результате регулировочных работ, то эти работы могут выполнять рабочие завода-потребителя.

До проведения следующих этапов испытания следует проверить правильность выверки станка по уровню относительно горизонтальной или другой заданной плоскости. Точность выверки должна находиться в пределах 0,04 мм/м для станков классов точности Н и П и 0,02 мм/м для станков классов точности В, А и С. Затем необходимо приступить к проверке станка на холостом ходу. Во время этого этапа проверяют геометрическую точность и жесткость станка, отрабатывают все команды по программе, проверяют надежность и безопасность работы, соответствие отрабатываемых скоростей шпинделя и подач запрограммированным и соответствие скоростей вспомогательных перемещений, длины пути разгона и торможения паспортным данным станка.

Надежность и безотказность станка проверяют работой его в автоматическом режиме на холостом ходу по специальной тест-программе, которая предусматривает многократные перемещения рабочих органов с различными подачами во всем диапазоне длин, переключения всех частот вращения шпинделя, включение и отмену корректоров длины и радиуса инструментов, включение и выключение вспомогательных команд, повороты столов, смену инструмента и т. д. Тест-программа составлена так, чтобы при испытании в работе приняли участие абсолютно все механизмы и устройства станка, прошли проверку все системы устройства ЧПУ. Опыт приемки станков с ЧПУ показывает, что время работы по тест-программе должно составлять около 16 ч непрерывной работы. О надежности судят по отсутствию сбоев и отказов, по приходу рабочих органов в контролируемые индикаторами положения. В случае отказа необходимо отыскать и устранить причину его возникновения, а затем повторить испытания по тест-программе в течение всего запланированного времени.

Проверка работы станка на холостом ходу дополняется проверкой станка в работе. Проверяют у обработанных образцов точность размеров, правильность взаимного расположения и геометрической формы поверхностей.

При положительных результатах испытаний станок передают в эксплуатацию по акту, в составлении которого принимают участие представители отделов главного механика и технического контроля, а также цеха, в котором станок смонтирован. При неудовлетворительных результатах испытаний следует вызвать представителя завода-изготовителя для составления рекламационного акта.

Примерно через 200 ч работы станок следует осмотреть, заполнить все резервуары и индивидуальные смазочные точки свежей смазкой. С этого момента станок переводят на режим нормальной эксплуатации. На него составляют план-график осмотров, проверок точности, промывок и ремонтов в соответствии с установленной для станков с ЧПУ периодичностью.

Глава III

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

§ 1. НАДЕЖНОСТЬ И ЕЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Станки с программным управлением в связи с их значительной стоимостью экономичны только при интенсивном использовании во времени (двухсменном, а иногда и трехсменном) и при эксплуатации без простоев. Станки работают в напряженном режиме, так как на них выполняют разнородные работы как чистовые, так и

черновые. Возрастают требования к сохранению станками требуемой точности в течение всего периода эксплуатации.

Свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования, называют *надежностью*. В свою очередь, надежность характеризуется безотказностью, долговечностью и ремонтопригодностью.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. *Долговечность* — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Безотказность и долговечность — свойства изделия сохранять работоспособность, различие между ними заключается в том, что безотказность охватывает ограниченное время, а долговечность распространяется на ресурс работы объекта с возможными перерывами на ремонт.

Основными показателями надежности, и в то же время безотказности, может быть принята вероятность безотказной работы $P_н$ в пределах заданного периода времени. Например, если вероятность безотказной работы станка $P_н = 0,97$ в течение 1000 ч, то это значит, что 97 % за то, что в течение 1000 ч станок будет работать безотказно. Значение $P_н$ имеет смысл лишь при указании периода времени, в течение которого должно выполняться условие безотказности работы машины.

Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонта и технического обслуживания называют *ремонтопригодностью*.

Конструкция станка, технология его изготовления и методы эксплуатации определяют надежность станка в целом и все три ее основные части: безотказность, долговечность и ремонтопригодность. Для станков с ЧПУ особенно актуальны проблемы безотказности и ремонтопригодности. Это связано с большой сложностью конструкции, значительным количеством элементов, взаимодействием разнородных устройств и механизмов.

Для станков с ЧПУ предложен комплексный показатель надежности — удельная длительность восстановления, характеризующаяся отношением показателей ремонтопригодности $T_в$ и безотказности T станков.

Удельная длительность восстановления

$$B = \frac{\sum_{j=1}^{m} t_{bj}}{\sum_{i=1}^{N} t_i} = \frac{T_в}{T},$$

где t_{b_j} — время, затрачиваемое на обнаружение, поиск, причины и устранение последствий j-го отказа станка, ч; t_i — суммарная наработка i-го станка за период наблюдений, ч; N — число станков, находящихся под наблюдением; m — суммарное число отказов станков с ЧПУ.

Удельная длительность восстановления B функционально связана с коэффициентом готовности $K_г$ — вероятностью того, что станок окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование станка по назначению не предусматривается:

$$K_г = \frac{1}{1+B}.$$

Нормы надежности установлены для станков с ЧПУ с револьверной головкой и одноинструментных $B = 0{,}05 \div 0{,}07$, т. е. 5—7 ч простоев в неплановом ремонте на 100 ч работы по управляющим программам, для станков с инструментальным магазином $B = 0{,}07 \div 0{,}10$; для устройств ЧПУ $B = 0{,}005 \div 0{,}02$.

§ 2. ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ОТКАЗОВ

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. В течение раннего периода эксплуатации станка отказы происходят чаще, чем при дальнейшей эксплуатации.

Так называемый период приработки, когда имеется повышенное число отказов, для станков с ЧПУ продолжается в течение нескольких десятков и даже сотен часов. Потребителю следует быть готовым к тому, что процесс приработки на заводе — изготовителе станка не был завершен и будет продолжаться в период пуска станка и на первой стадии эксплуатации. Это требует от обслуживающего персонала заводов-потребителей значений устройств всех механизмов и систем станков. Наиболее сложные проблемы возникают при освоении новых моделей станков, опыта эксплуатации которых завод-потребитель не имеет.

После завершения приработки станок вступает в период нормальной эксплуатации. Этот период характерен тем, что интенсивность отказов резко снижается по сравнению с периодом приработки и остается постоянной в течение нескольких тысяч часов. В любой равный отрезок времени этого периода частота отказов практически одинакова, и безразлично, будет ли это время, например, от 350 до 400-го или 2600 до 2650-го часов работы станка. Отказы носят внезапный характер, предвидеть или предсказать их нельзя. Возникают они вследствие внезапной концентрации нагрузок, превышающей расчетную для данных элементов, деталей или механизмов величину.

Под элементами в данном случае мы понимаем все многообразие составляющих комплекса станок—устройство ЧПУ. Рабочие нагрузки также чрезвычайно многообразны и составляют совокупность разнородных параметров. Для механических систем — это

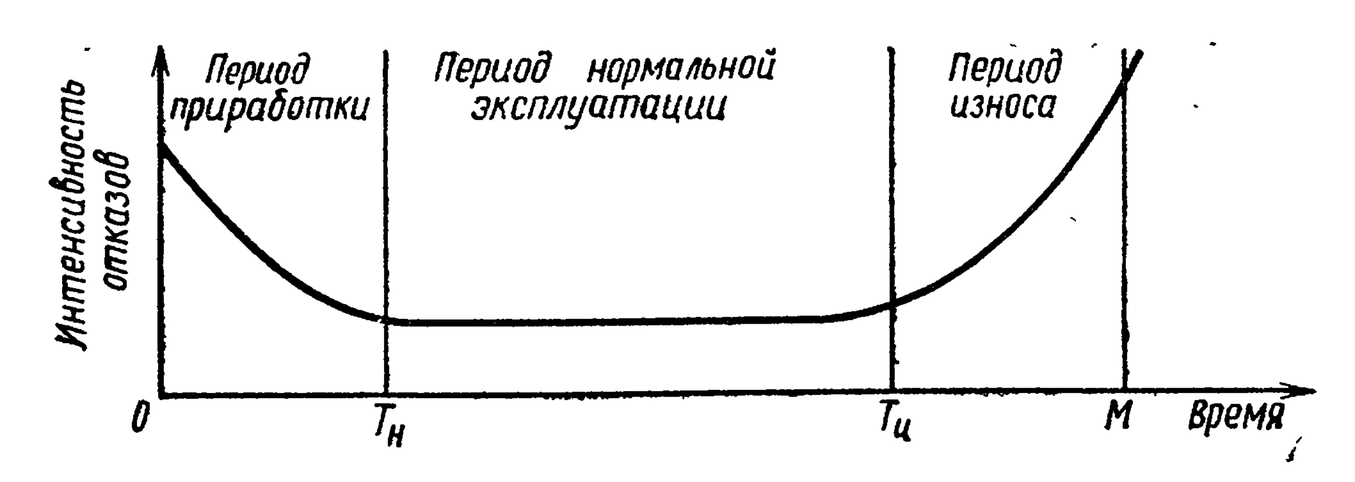


Рис. 17. Распределение интенсивности отказов в процессе эксплуатации станка

статические и динамические воздействия сил резания, приводов движений, трения; вибрации; высокие температуры; для гидравлических систем — повышенная температура и давление, механические примеси и влага в рабочей жидкости; для электрических и электронных устройств — напряжение, сила тока, частота, температура, вибрации, загрязненность воздушной среды, ускорения, влажность и др. Интенсивность отказов элементов резко снижается, если снизить нагрузку на них. Это правило чрезвычайно важно на этапе проектирования, когда выбирают соотношения между номинальными уровнями прочности и нагрузки. Но многое можно сделать и на этапе эксплуатации станка, не нагружая его сверх допустимого уровня, обеспечив необходимый тепловой режим всех устройств и систем, не допуская запыленности, загрязнения, проникновения влаги и воздействия внешних вибраций.

В период нормальной эксплуатации вероятность безотказной работы $P_н$ определяется эксплуатационной зависимостью $P_н(t) = e^{-\lambda t}$, где e = 2,71828 ... — основание натуральных логарифмов; λ — постоянная, называемая интенсивностью внезапных отказов; t — произвольное время работы, для которого определяется надежность устройства.

Надежность $P_н$ представляет собой вероятность того, что устройство с постоянной интенсивностью отказов не откажет в течение заданного времени t. Величина $m = 1/\lambda$ называется средней наработкой на отказ и исчисляется в часах.

Кривая интенсивности отказов в зависимости от времени эксплуатации приведена на рис. 17. Период приработки завершается к моменту $T_н$, период нормальной эксплуатации — к моменту $T_и$. Чтобы избежать отказов, связанных с износом, следует своевременно профилактически заменять износившиеся и устаревшие элементы. Такая замена позволяет почти полностью избежать отказов из-за износа и повысить в конечном счете надежность станков. Замену элементов следует производить раньше, чем элемент отработает весь срок M службы. Таким моментом должно быть время $T_и$, когда износ только начинает проявляться и возникает вероятность первых отказов. Исходя из этого следует определить сроки профилактической замены элементов конструкции.

При эксплуатации станков с ЧПУ необходимо организовать наблюдение за работоспособностью станков и сбор статистической

информации об отказах. Основной формой учета работы и отказов является эксплуатационный журнал — дневник, в котором фиксируют информацию о качестве выполнения отдельными системами станка требуемых функций, о всех нарушениях в нормальной работе, о проводившихся мероприятиях по восстановлению и поддержанию работоспособности с указанием времени выполнения каждого этапа эксплуатации станка. Из эксплуатационного журнала могут быть взяты все данные, необходимые для расчета удельной длительности восстановления. Наблюдения ведут за отдельными подсистемами станка и устройства с ЧПУ: механическими устройствами, гидросистемой, пневмосистемой, системой смазки и охлаждения, электрической аппаратурой, измерительными системами, устройством ввода информации, электронными блоками.

§ 3. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНЫХ СЛУЖБ ЗАВОДОВ

Основной задачей ремонтных служб в период нормальной эксплуатации станков является проведение технического обслуживания, призванного предотвратить отказы в связи с износом и сохранить первоначальную точность станков. Существуют три основных вида организации на заводах ремонтных служб: централизованная, децентрализованная, смешанная.

Централизованная организация ремонтной службы станков с ЧПУ предусматривает выполнение всех ремонтных работ и межремонтного обслуживания силами и средствами одного или двух специализированных подразделений. При наличии двух подразделений одно из них обслуживает механическую часть станка, другое — электрическую и электронную.

Децентрализованная организация ремонтной службы состоит в том, что все виды ремонтных работ, межремонтное обслуживание и профилактические ремонты производят силами служб механиков и энергетиков цехов.

Смешанная организация ремонтной службы характеризуется тем, что большинство ремонтных работ выполняют работники цеховых ремонтных служб, а капитальный ремонт, сложные ремонты электронных устройств и изготовление запасных частей — работники ремонтных цехов и общезаводских централизованных служб.

При децентрализованной и смешанной системах при отделах главного механика и главного энергетика завода создают специализированные группы. Их работа заключается в подготовке технологии обслуживания и ремонта, разработке ремонтной документации и карт контроля станков, планировании выполнения профилактических работ, заказе запасных частей, оказании помощи цехам в проведении сложных регулировок и сложных аварийных ремонтов.

Наряду с перечисленными службами целесообразно создать на заводе группу (бюро) внедрения станков с ЧПУ, возложив на нее следующие обязанности: освоение новых станков, техническое обслуживание и несложный ремонт станков в период освоения, обучение рабочих (операторов и ремонтников).

Глава IV

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

§ 1. ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

При обработке на станках с ЧПУ имеются предпосылки достижения более высоких точностей, чем при обработке на станках с ручным управлением. Этот результат определяется как точностными особенностями станков, так и отличиями в построении технологического процесса. Немаловажно также снижение доли погрешностей, зависящих от исполнителя, в результате автоматизации процесса формообразования.

Погрешности обработки на станках с ЧПУ определяются следующими основными факторами: неточностью станков, включая ошибки интерполятора и режима интерполяции; погрешностями, заложенными в управляющих программах, из которых наиболее существенными являются погрешности аппроксимации; погрешностями установки, базирования и закрепления заготовки на станке; погрешностями настройки инструмента и станка на размер; погрешностями обработки, вызванными неточностью инструмента и его износом; тепловыми деформациями и деформациями, возникающими под влиянием внутренних напряжений в материале детали; погрешностями обработки, возникающими в связи с малой жесткостью; ошибками исполнителя работ, т. е. наладчика и оператора.

Действие всех перечисленных факторов, влияющих на точность обработки, приводит к возникновению суммарной погрешности обработки δ_Σ. Элементарные погрешности δ_i, определяемые действием каждого отдельного фактора, практически независимы между собой. Суммирование их может быть выполнено по вероятностному методу $\delta_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (k_i\delta_i)^2}$, где i — индекс элементарной погрешности; n — общее число погрешностей; k_i — коэффициенты, учитывающие законы распределения погрешностей, $k_i = 1{,}0 \div 1{,}73$.

Расчет точности обработки по приведенной формуле получил название расчетно-аналитического метода исследования точности.

§ 2. ТОЧНОСТЬ СТАНКОВ

Точность станков в ненагруженном состоянии называют *геометрической*.

В зависимости от точностной характеристики станки с ЧПУ подразделяют в порядке возрастания точности на четыре класса: нормальной Н; повышенной П; высокой В; особо высокой А.

Станки повышенной точности отличаются от станков нормальной точности в основном более точным выполнением или подбором деталей, а также отдельными особенностями монтажа и эксплуатации у потребителей. Они обеспечивают точность обработки в среднем в пределах 0,6 отклонений, получаемых на станках нормальной точности. Станки с ЧПУ высокой точности класса В обеспечивают точность обработки в пределах 0,4, а станки класса А — в пределах 0,25 отклонений, получаемых на станках нормальной точности. Станки классов В и А получают в результате специального конструктивного исполнения, их узлов и элементов, а также высокой точности изготовления.

При проверке норм точности станков устанавливают: точность геометрических форм и относительного положения опорных поверхностей, базирующих заготовку и инструмент; точность движений по направляющим рабочих органов станка; точность расположения осей вращения и траекторий перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент, относительно друг друга и относительно базирующих поверхностей; точность обработанных поверхностей образца; шероховатость обработанных поверхностей образца.

Точность станков с ЧПУ выявляется дополнительно следующими специфическими проверками: точностью линейного позиционирования рабочих органов; величиной зоны нечувствительности, т. е. отставанием в смещении рабочих органов при смене направления движения; точностью возврата рабочих органов в исходное положение; стабильностью выхода рабочих органов в заданную точку; точностью отработки круга в режиме круговой интерполяции; стабильностью положения инструментов после автоматической смены.

Для примера приведем нормативы точности линейного позиционирования A рабочих органов (табл. 8).

При проверках выявляют как точность, так и стабильность, т. е. многократную повторяемость прихода рабочих органов в одно и то же положение, причем зачастую стабильность важнее для достижения точности обработки на станках с ЧПУ, чем сама точность. В табл. 9 приведены предельные допускаемые значения нестабильности при линейном позиционировании.

Общая допускаемая ошибка при позиционировании рабочих органов $\Delta_р = \Delta + \delta$.

Исходя из допускаемых отклонений, наибольшая погрешность в отработке перемещения, например, длиной в 300 мм по осям

8. Допускаемая накопленная погрешность Δ при одностороннем подходе к заданной координате, мкм

Класс точности станка	До 50		Св. 50 до 80		Св. 80 до 125		Св. 125 до 200		Св. 200 до 320		Св. 320 до 500		Св. 500 до 800		Св. 800 до 1250		Св. 1250 до 2000	
	а	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*
Н	8	12	10	16	12	20	16	25	20	30	25	40	30	50	40	65	50	80
П	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20	16	26	20	30	25	40
В	2	3	2,5	4	3	5	4	6	5	8	6	10	8	12	10	16	12	20

(Перемещения на длине, мм)

Примечание. Погрешность *а* относятся к осям *X*, *Y*, *W*, *R*; погрешности *б* — к оси *Z*.

9. Допускаемая нестабильность δ достижения заданного положения при позиционировании, мкм

Класс точности станка	До 50		Св. 50 до 125		Св. 125 до 320		Св. 320 до 800		Св. 800 до 2000	
	а	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*	*б*
Н	9,6	15,0	12,0	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В	2,4	3,6	3,0	4,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

(Перемещения на длине, мм)

Примечание. Отклонения *а* относятся к осям *X*, *Y*, *W*, *R*; отклонения *б* — к оси *Z*.

X и *Y* для станка класса П составит 17,2 мкм, а для станка класса В — 8,6 мкм.

Для сохранения станком точности в течение длительного времени эксплуатации нормы геометрической точности почти на все проверки при изготовлении станка, по сравнению с нормативными, ужесточают на 40 %. Тем самым завод-изготовитель резервирует в новом станке запас на износ.

§ 3. ОШИБКИ ИНТЕРПОЛЯТОРА И РЕЖИМА ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Часть погрешностей обработки вносит интерполятор — вычислительное устройство, рассчитывающее траекторию движения точки по заданной кривой и вырабатывающее строго взаимосвязанные сигналы управления приводами подач станка. Интерполятор присущ устройствам с контурным (непрерывным) управлением. Существует несколько видов интерполяторов, из них наиболее распространены линейные и линейно-круговые.

Линейный интерполятор позволяет в одном кадре управляющей программы задать прямолинейное суммарное перемещение рабочих

органов по двум-трем координатам, перемещение по архимедовой спирали или винтовой линии при одновременном вращении стола и равномерном прямолинейном перемещении рабочего органа.

Круговой интерполятор позволяет описать одним кадром часть окружности в любой плоскости координатных осей.

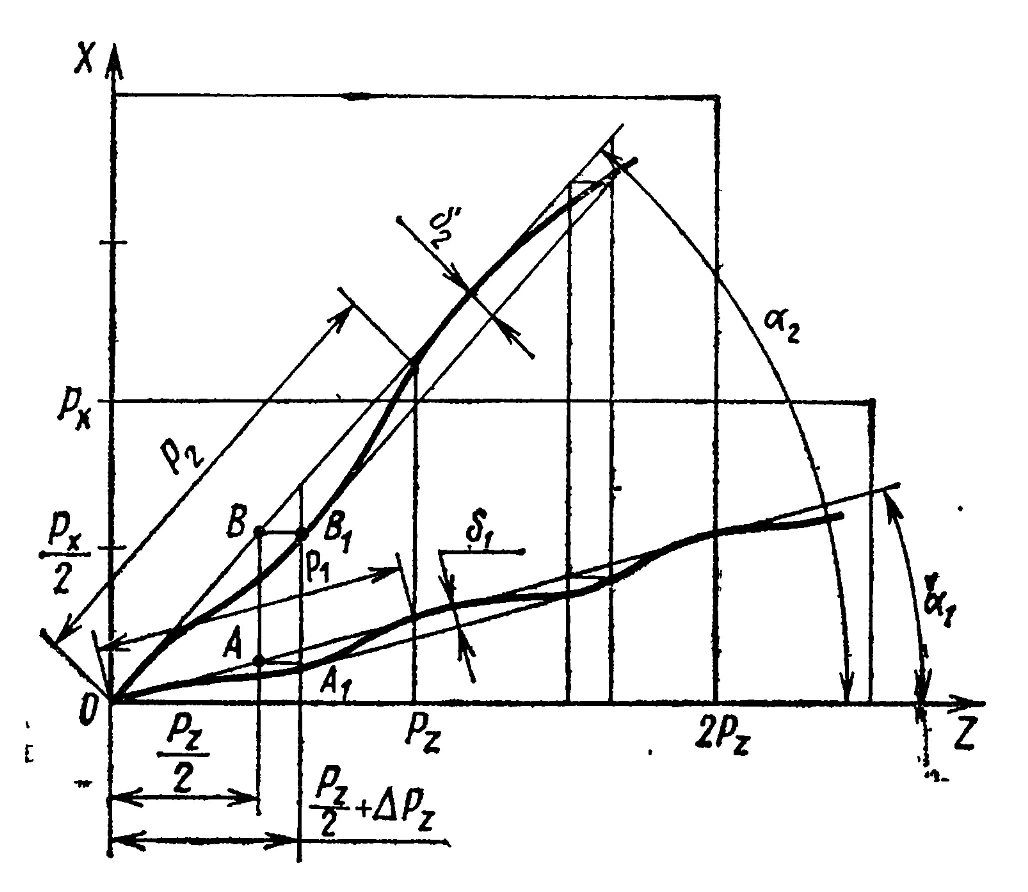
Для интерполяторов характерны некоторые отклонения отрабатываемой траектории от заданной. Величина отклонений (геометрическая погрешность) зависит от угла наклона траектории к координатным осям и нигде не превышает цены импульса (дискреты) Δ в одну из сторон от заданной траектории или на ограниченном участке $\pm 0{,}707\Delta$ в обе стороны от заданной траектории. Станкам первого поколения с величиной дискреты до 0,1 мм и более были присущи значительные погрешности обработки, связанные с природой интерполятора. Геометрическая погрешность интерполяции для современных станков с ценой единичных импульсов в 0,001—0,002 мм является величиной малой, не оказывающей существенного влияния на точность обработки, но проявляющейся в виде отклонений микрогеометрии, т. е. шероховатости обработанной поверхности.

Весьма существенны погрешности, не зависящие от интерполятора, но проявляющиеся в режиме интерполяции, причиной которых являются циклические ошибки в передаче движения приводами подач. Эти ошибки возникают от осевых биений и внутришаговых ошибок ходовых винтов, накопленных ошибок зубчатых колес редукторов и передач к датчикам обратной связи, несоосности валов в кинематической цепи двигатель привода подач — редуктор — ходовой винт — датчик. При работе только по одной координате такие ошибки проявляются в виде некоторой неравномерности движения рабочих органов и не отражаются на результатах обработки, так как незначительные изменения величины подачи в пределах малых долей от номинального значения практически не приводят к микро- и макропогрешностям обработанной поверхности.

Совсем иная картина получается при одновременном перемещении рабочих органов в режиме интерполяции по нескольким осям. В этом случае неравномерность движения даже по одной из координат приводит к погрешности отработки траектории и волнистости обработанной поверхности.

Допустим, в двухкоординатной системе XZ (рис. 18) неравномерность на каждый оборот ходового винта проявляется при движении по координате Z, а движение по координате X осуществляется равномерно. Обозначим через P_Z и P_X шаги ходовых винтов соответственно по осям Z и X. Вначале представим, что выполняется линейная интерполяция, например протачивание конической поверхности на токарном станке под углом α_1 к продольной оси Z. В связи с цикличностью ошибки по оси Z через полоборота ходового винта каретка пройдет путь больший, чем половина шага, на некоторую величину ΔP_Z, и рабочий орган вместо точки

Рис. 18. Возникновение погрешности в режиме линейной интерполяции



A окажется в точке A_1. На обработанной поверхности возникает волнистость с высотой волны $\delta_1 = \Delta P_Z \sin \alpha_1$ и шагом $P_1 = P_Z/\cos \alpha_1$.

С увеличением угла наклона траектории к оси *Z* увеличиваются высота $\delta_2 = \Delta P_Z \sin \alpha_2$ и длина $P_2 = P_Z/\cos \alpha_2$ волны. Отсюда становится ясно, как, оценивая шаг и высоту волны на обработанной поверхности, выявить элемент или группу элементов, порождающих циклическую погрешность перемещения. Нужно обработать две поверхности под углами α_1 и α_2. Если при малом угле наклона α_1 траектории к одной из осей высота δ_1 и шаг P_1 волны меньше, чем δ_2 и P_2 при большом угле α_2, то основное воздействие на погрешность оказывают элементы привода, расположенные и работающие по той же оси. Если элемент, порождающей ошибку, связан с ходовым винтом зубчатыми передачами с коэффициентом редукции *i*, то проекция волны на ось будет иметь шаг, равный *Pi*.

§ 4. ПОГРЕШНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ

Иногда приходится аппроксимировать заданные кривые путем приближенного выражения их отрезками прямых или участками дуг окружностей. Аппроксимация всегда связана с погрешностью. Для того чтобы точность была достаточно высокой, заданную кривую нужно разделить на большое число участков, вычислить координаты опорных точек начала и конца участков, заменить каждый из участков отрезками прямой или дугой окружности.

Устройства ЧПУ первого поколения («Контур-2П», «Контур-3П», «Контур-2ПТ-71») не имеют кругового интерполятора, в связи с чем дуга окружности аппроксимируется отрезками прямых линий. Связь между погрешностью δ и центральным углом φ отдельного участка траектории (рис. 19) выражается с довольно большой точностью зависимостью: $\delta = R\varphi^2/28800$.

Путь повышения точности лежит в увеличении числа участков, так как уменьшение дуги в 2 раза уменьшает погрешность в 4 раза. Однако этот путь повышает трудоемкость программирования, а также имеет ограничения, связанные с предельной длиной перфоленты для данного устройства ЧПУ. Нежелательность увеличивать число участков заставляет искать другие пути повышения точ-

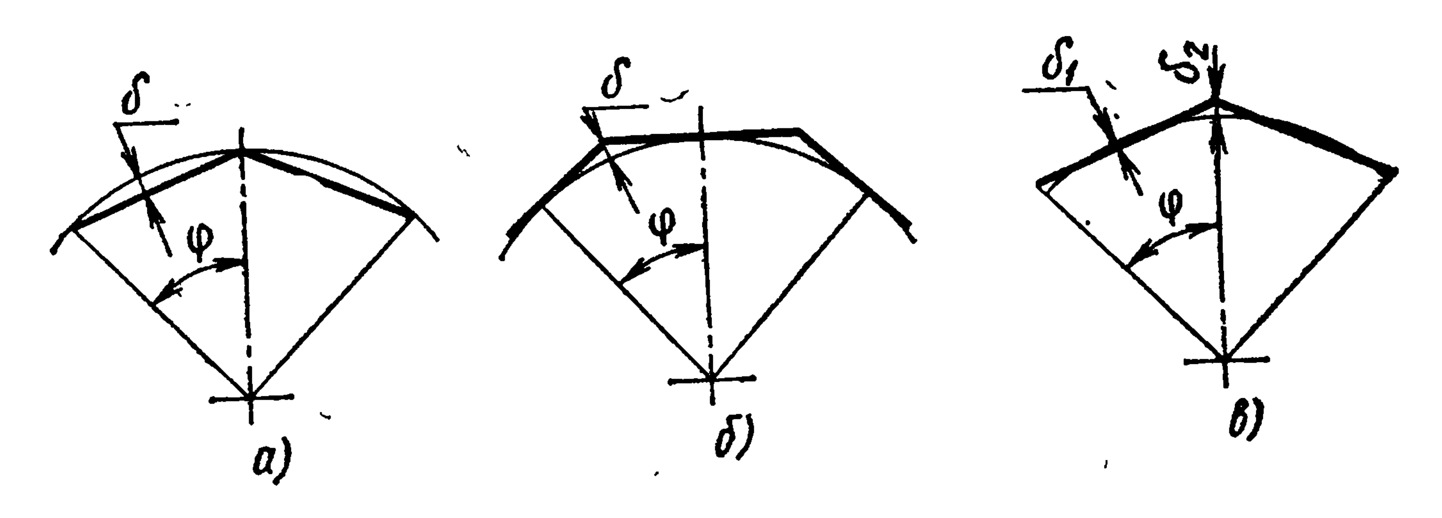


Рис. 19. Аппроксимация дуги окружности:

а — хордами; *б* — касательными; *в* — секущими

ности. Замена дуги секущими дает наибольшее приближение запрограммированной траектории к заданной.

Для большинства устройств ЧПУ первого и второго поколений расчетной траекторией при программировании является не контур обрабатываемой детали, а его эквидистанта, отстоящая от контура на величину радиуса инструмента. Для токарной обработки — это радиус при вершине резца, для фрезерования — радиус фрезы. Следовательно, при аппроксимации ломаной заменяется не контур, а его эквидистанта. В устройствах третьего поколения программируют непосредственно обрабатываемый контур, радиус инструмента набирают на корректоре, а траекторию движения режущего инструмента по эквидистанте с высокой точностью рассчитывает устройство ЧПУ, чем достигается высокая точность обработки.

§ 5. ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ, БАЗИРОВАНИЯ И ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называют *базированием*. Базы, используемые для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта, называют *технологическими*. Базы, используемые для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения, называют *измерительными*.

Погрешность установки $\delta_у$ определяется суммой погрешностей базирования $\delta_б$ и закрепления $\delta_з$. Погрешности являются векторами и указанное суммирование выполняют геометрически. Погрешность базирования возникает вследствие несовмещения установочной базы с измерительной.

Корпусную деталь (рис. 20), у которой измерительными базами являются поверхности *K* и *L*, согласно традиционным представлениям о достижении максимальной точности нужно базировать по тем же поверхностям, при этом осуществляется совмещение технологических и измерительных баз. Однако для станков с ЧПУ имеется возможность достижения более высоких точностей, когда за один установ обрабатывают измерительные базы и все остальные поверхности, размеры для которых отсчитаны от этих баз

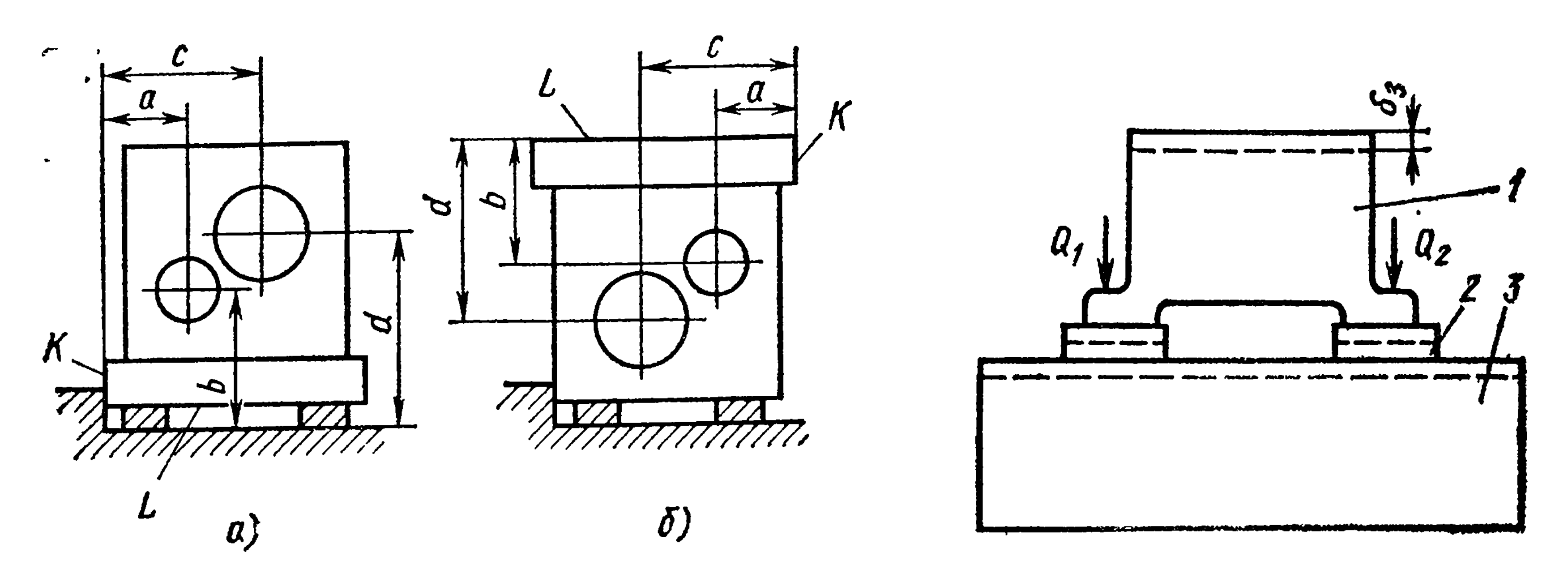


Рис. 20. Базирование корпусной детали:

а — совмещение технологических и измерительных баз; *б* — обработка поверхностей за один установ

Рис. 21. Осадка заготовки под воздействием зажимных сил

(рис. 20, *б*). В качестве технологических баз могут быть выбраны менее ответственные поверхности, зачастую необработанные, что особенно характерно для обработки на многооперационных станках.

При закреплении (рис. 21) возможны смещения заготовки *1* под действием зажимных сил Q_1 и Q_2, т. е. появление погрешности закрепления $\delta_з$. Смещение заготовки из положения, определяемого установочными элементами приспособления, происходит вследствие деформаций отдельных звеньев цепи: заготовка — установочные элементы *2* — корпус приспособления *3*. Особенно велики деформации в местах контакта базовых поверхностей заготовки с установочными элементами приспособлений.

Если бы деформация поверхностных слоев всех заготовок партии была одинаковой, то ее можно было бы учесть при настройке станка и компенсировать с помощью коррекции инструмента или другими доступными наладчику методами. Однако в связи с неоднородностью качества поверхностей и нестабильностью удельных нагрузок будет возникать различная по величине для всех заготовок партии осадка. Погрешность закрепления равна разности между предельными (наибольшей и наименьшей) величинами смещения измерительной базы в партии обработанных деталей.

§ 6. ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ВЫЗВАННЫЕ НЕТОЧНОСТЬЮ НАСТРОЙКИ ИНСТРУМЕНТОВ НА РАЗМЕР

Современные приборы для настройки инструментов на размер имеют высокую разрешающую способность; цена отсчета координатных шкал 0,001 мм, увеличение проектора до 30 раз. Однако, сколь бы высокой ни была точность исполнения прибора, инструмент всегда настраивают с некоторыми отклонениями. Эти отклонения определяются погрешностью самого прибора ($\delta_1, \ldots, \delta_5$) и

погрешностью закрепления на станке настроенного на размер инструмента (δ_6, ..., δ_8).

По правилам сложения случайных величин погрешность положения вершины настроенного на размер инструмента

$$\delta_и = \sqrt{(k_1\delta_1)^2 + (k_2\delta_2)^2 + (k_3\delta_3)^2 + (k_4\delta_4)^2 + (k_5\delta_5)^2 + (k_6\delta_6)^2 + (k_7\delta_7)^2 + (k_8\delta_8)^2},$$

где δ_1 — погрешность шкал отсчета прибора; δ_2 — погрешность отсчета размера по шкалам; δ_3 — неточность совмещения вершины инструмента с перекрестием экрана проектора; δ_4 — несовмещение начал отсчета шкал и устройства для крепления инструмента; δ_5 — погрешность от неточности углового расположения на приборе устройства для крепления инструмента; δ_6 — несовпадение нуля отсчета координат инструмента с теоретическим положением из-за неточностей расположения поверхностей, базирующих инструмент на станке; δ_7 — погрешность, возникающая от неправильного углового расположения на станке базирующих поверхностей; δ_8 — погрешность, возникающая в связи с деформациями элементов, участвующих в зажиме инструмента; k — коэффициенты, учитывающие законы распределения погрешностей.

Оценку точности настройки инструментов на размер можно выполнить на основе расчета. При расчете можно принять следующие величины:
$\delta_1 = 1{,}5$ мкм; $\delta_2 = 1$ мкм; $\delta_3 = \delta_4 = \ldots = \delta_8 = 3$ мкм; $k_1 = k_2 = \ldots = k_8 = 1$ (погрешности распределены по нормальному закону); $\delta_и = 7{,}5$ мкм.

Погрешности δ_6, δ_7 и δ_8 не могут быть учтены и скомпенсированы при настройке инструментов на размер, так как один прибор обычно обслуживает несколько станков, для которых величины погрешностей различны.

§ 7. ПОГРЕШНОСТИ НАСТРОЙКИ СТАНКА НА РАЗМЕР

Настройка станка на размер заключается в согласованной установке настроенного на размер режущего инструмента, рабочих элементов станка и базирующих элементов приспособления в положение, которое с учетом явлений, происходящих в процессе обработки, обеспечивает получение требуемого размера с заданным допуском на изготовление. Это взаимное положение элементов технологической системы определяют термином «установочный размер». Погрешность настройки станка возникает вследствие того, что при отыскании нуля программы и установке инструментов невозможно расположить рабочие элементы станка и инструмента точно в расчетное положение.

В процессе настройки для определения установочного размера для каждого инструмента наладчик использует метод пробных проходов, а в ходе дальнейшей обработки партии деталей — метод автоматического получения размеров.

Погрешность настройки станка $\delta_н$ равна разности между предельными величинами установочного размера и зависит от погрешности настройки инструмента на размер $\delta_и$, погрешности установки нулевого положения программы δ_0, погрешности измерения пробных деталей при настройке $\delta_{изм}$ и отклонений центра группирования пробных деталей относительно середины поля рассеяния в момент настройки $\delta_{расч}$:

$$\delta_н = \sqrt{(k_и\delta_и)^2 + (k_0\delta_0)^2 + (k_{изм}\delta_{изм})^2 + (k_{расч}\delta_{расч})^2},$$

где $k_и$, k_0 и $k_{расч}$ равны 1,0—1,73; $k_{изм} = 1{,}0$; $\delta_{расч} = \frac{3\sigma_н}{\sqrt{n}}$,

здесь $\sigma_н$ — среднеквадратическое отклонение в момент настройки (подробнее см. § 11 данной главы); n — число пробных деталей, на которых производится настройка установочного размера.

Точность настройки повышается при увеличении числа пробных деталей. Однако следует учитывать, что при обработке малых партий число пробных деталей ограничено и часто не превышает одной штуки. Чтобы первую пробную деталь получить годной, с малыми затратами времени установить нулевое положение программы и с помощью корректоров положения достичь требуемых размеров, нужна высокая квалификация наладчика.

Под регулировкой установочного размера (подналадкой) понимают восстановление установочного размера, изменившего свою величину вследствие размерного износа инструментов или температурных деформаций системы. Обоснованный выбор установочного размера, с одной стороны, исключает появление брака вскоре после настройки станка, а с другой стороны — более полно использует поле допуска на износ инструмента и температурную деформацию и, таким образом, уменьшает число подналадок станка на протяжении обработки партии. В зависимости от характера дальнейшего изменения размеров располагают при настройке установочный размер примерно на $^1/_5$ поля допуска от нижней или верхней границы поля. Инструменты для обработки наружных поверхностей с учетом дальнейшего размерного износа следует настраивать ближе к нижней границе поля допуска, а инструменты для обработки внутренних поверхностей — ближе к верхней границе.

§ 8. ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ВЫЗВАННЫЕ НЕТОЧНОСТЬЮ ИНСТРУМЕНТА И ЕГО ИЗНОСОМ

Для станков с ЧПУ, выполняющих обработку в автоматическом режиме, требования к качеству инструмента как параметра, определяющего точность обработки, значительно возрастают. Существенное влияние на результат обработки оказывает точность базирующих поверхностей и режущей части, а также острота режущих кромок инструментов. Неточность базирующих поверхностей режущих инструментов может привести как к нежесткости крепле-

ния инструмента и повышенным отжимам под нагрузкой, так и к неточности сборки их со вспомогательными инструментами. Неточность базирующих поверхностей вспомогательных инструментов может привести также к переориентации инструмента в сборе при перестановке его из прибора для настройки на станок.

Геометрические неточности режущих частей могут привести к погрешностям обработки в связи с искажениями расчетной траектории, а низкое качество затачивания — к возрастанию силы резания, повышенным отжимам, ухудшению шероховатости, вибрациям и прочим отклонениям от расчетных условий обработки.

Для неперетачиваемых твердосплавных пластин, которыми оснащают многие режущие инструменты для станков с ЧПУ, установлены четыре степени точности: от нормальной до прецизионной, регламентирующие допустимые отклонения размера диаметра вписанной в контур пластины окружности d и толщины пластины S (табл. 10).

Номинальная величина радиуса на вершине r имеет несколько стандартизованных размеров в диапазоне 0,4—1,6 мм.

Повышенная степень точности пластин (M) при использовании их в токарных резцах достаточна для того, чтобы при повороте пластины не использовать повторную настройку вне станка, а поднастраивать получаемые размеры с помощью коррекции инструментов.

При фасонной токарной обработке формирование обрабатываемой поверхности производится различными точками, лежащими на радиусе r закругления вершины резца (рис. 22). Цилиндрические поверхности образуются точкой A, торцовые поверхности — точкой B. Это обстоятельство всегда учитывается при программировании конических и криволинейных поверхностей. При обработке конических поверхностей достаточно ввести в программу поправку по оси Z на величину a, равную расстоянию между точкой B и той точкой C, которая фактически работает при данном угле α.

Если фактический радиус при вершине резца будет иметь отклонения от заданного программой, то неизбежно возникновение погрешностей обрабатываемого профиля.

Допустим, запроектирована обработка конической поверхности детали с углом α (рис. 23). Программой предусмотрена работа

10. Точность пластин твердого сплава

Обозначение степени точности		Предельные отклонения (см. рис. 11), мм		
цифровое	буквенное	d	S	r
1	U	0,13—0,18	0,13	0,1
2	M	0,05—0,1	0,13	0,1
3	Y	0,025	0,13	0,1
4	C	0,025	0,03	0,1

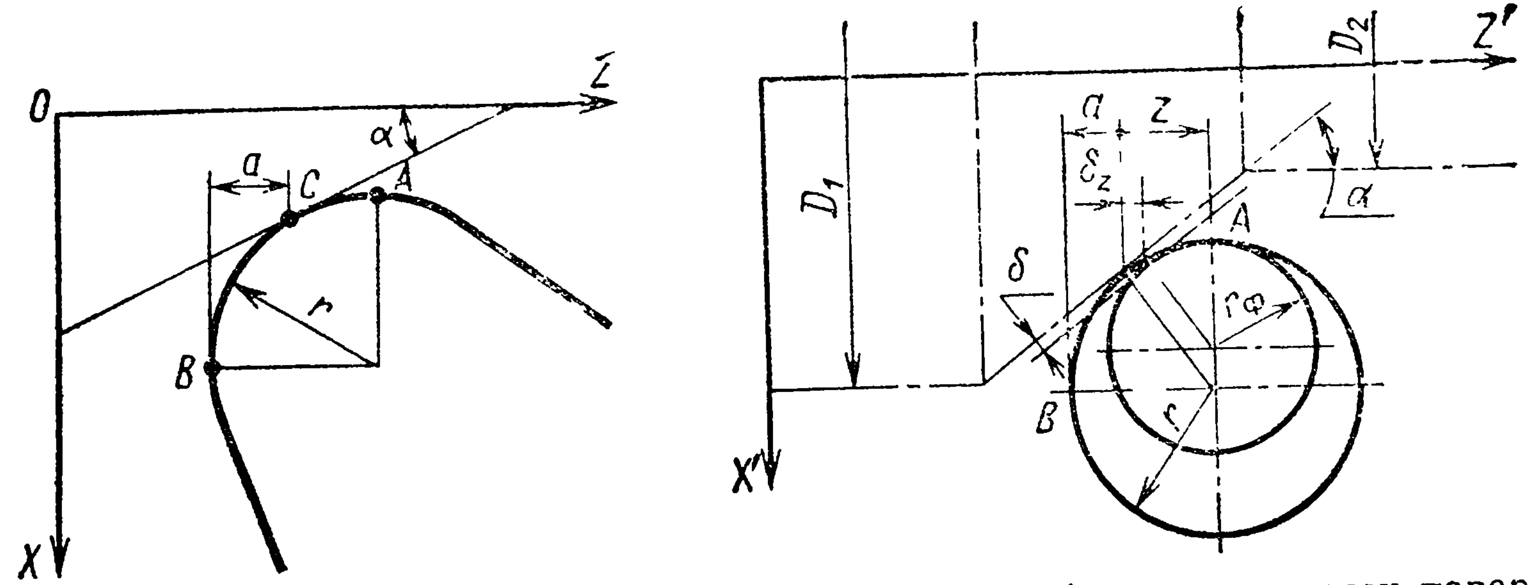


Рис. 22. Смещение расчетных точек резания при обработке различных поверхностей резцом с закругленной вершиной

Рис. 23. Погрешности обработки при неточном радиусе вершины резца

резцом с радиусом при вершине r, причем учтены необходимые смещения a. Фактически резец имеет радиус при вершине $r_ф$, отличающийся от заданного на величину Δr. Поскольку устройства ЧПУ токарных станков не имеют коррекции радиуса, а только коррекцию положения по каждой из координатных осей, то заданные диаметральные размеры D_1 и D_2 достигаются за счет коррекции по оси X'. Погрешность δ_Z искажения размеров по оси Z' можно определить по формуле $\delta_Z = \Delta r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$, а погрешность профиля $\delta = 2\Delta r \sin^2 \frac{\alpha}{2}$.

Для изделия, представленного на рис. 23, уменьшение радиуса при вершине резца приводит к сужению профиля, а увеличение радиуса к расширению его. На рис. 24 показана обработка вогнутых (рис. 24, *а*) и выпуклых (рис. 24, *б*) профилей переменной кривизны. Углы α_1 и α_2 являются максимальными углами наклона левой и правой частей профиля (кривая *1*) к оси Z'. Уменьшение радиуса при вершине резца по отношению к запрограммированному увеличивает кривизну вогнутого профиля и уменьшает кривизну выпуклого (кривая *3*). Увеличение радиуса при вершине резца уменьшает кривизну вогнутых профилей и увеличивает кривизну выпуклых (кривая *2*).

Допустимая для многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава погрешность радиуса при вершине $\Delta r = \pm 0{,}1$ мм

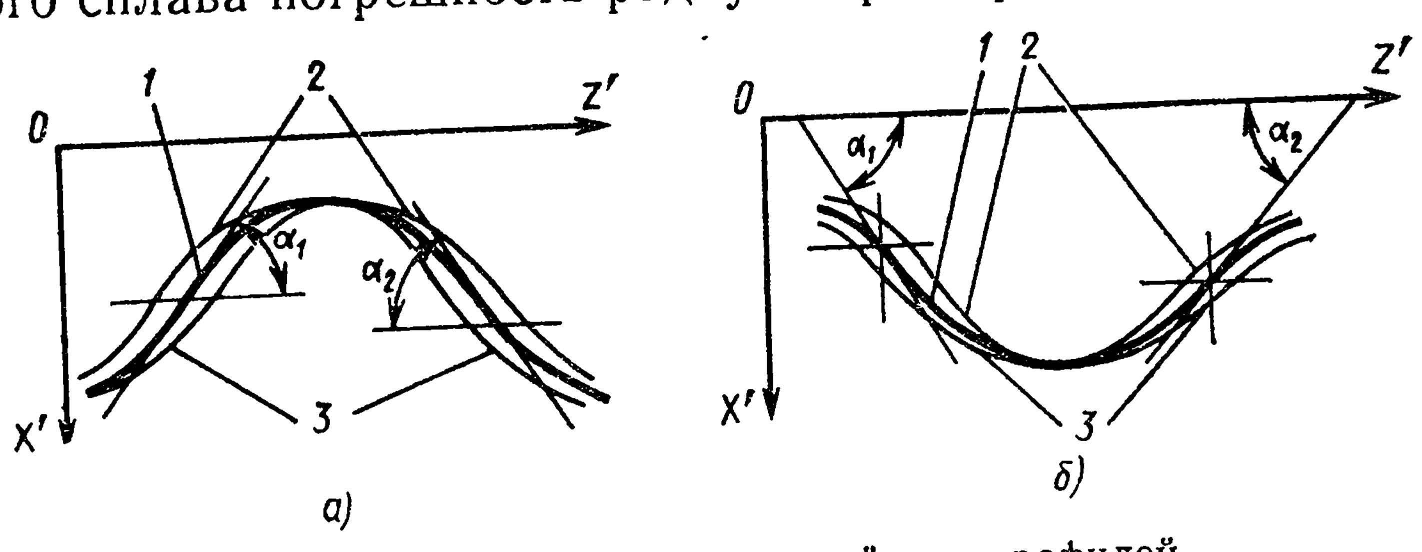


Рис. 24. Искажения при обработке криволинейных профилей

может привести к существенной по величине погрешности. Например, при $\alpha_1 = \alpha_2 = 35°$ погрешность профиля с каждой из сторон $\delta_Z = 0{,}018$ мм.

Размерный износ режущего инструмента вызывает закономерно изменяющуюся погрешность. Инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям. Особенно существенно на точность сказывается изнашивание по задней поверхности. Размеры обрабатываемой детали меняются как по причине изменения положения вершины затупившегося инструмента, так и в связи с увеличением радиальной составляющей силы резания и повышенными отжимами между инструментом и обрабатываемой деталью.

Зависимость размерного износа от пути, пройденного инструментом в металле, имеет три характерных этапа: приработки, установившегося и интенсивного изнашивания, приводящего к разрушению кромки. На этапе установившегося изнашивания наблюдается линейная зависимость размерного износа от пути резания, что позволяет компенсировать его влияние на точность обработки с помощью корректоров. Следовательно, необходимо на основе контроля результатов обработки предвидеть наиболее вероятные размеры каждой последующей детали и своевременно вносить коррекцию.

§ 9. ТЕПЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕФОРМАЦИИ ОТ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Тепловые деформации возникают в результате действия трех факторов: тепла, выделяемого двигателями, гидравлической системой и при трении движущихся частей станка; тепла, образующегося в процессе резания; непостоянства температуры помещения, в котором находится станок. Эти деформации весьма существенны. Заметим, что нагрев стального стержня длиной 1 м на 1 °С приводит к удлинению его на 11 мкм.

Температурные деформации частей станка в первое время работы протекают весьма интенсивно, затем интенсивность уменьшается, и по истечению некоторого времени деформации стабилизируются. Изменение взаимного положения рабочих органов станка активно влияет на точность размеров обрабатываемых заготовок. Режим прогрева станка до начала работы и его продолжительность необходимо задать исходя из тех режимов, на которых будет осуществляться обработка, таким образом, чтобы в короткое время достичь именно такого положения рабочих органов, которое они займут после наступления стабилизации.

Вторая практическая рекомендация относится к проведению обработки деталей без продолжительных перерывов, с сохранением определенного ритма работы и перерывов на смену заготовок.

Тепло, выделяемое в зоне резания, непосредственно воздействует на инструмент и заготовку, а через отходящую стружку на элементы станка. Имеется много практических приемов снижения влияния температурных деформаций на точность обработки.

Наиболее эффективный — использование смазочно-охлаждающих жидкостей. После черновой обработки с интенсивным тепловыделением чистовые проходы следует начинать не сразу, а после охлаждения заготовки. Обработка на многооперационных станках, когда одновременно в работе находится несколько заготовок, должна быть построена по рациональной схеме с выдержкой времени на стабилизацию температуры. Высокоточные станки, предназначенные для обработки точных деталей, устанавливают в термоконстантных помещениях.

Заготовкам всегда присущи внутренние напряжения. Они появляются в результате неравномерного охлаждения отдельных частей заготовок при литье, штамповке, ковке, сварке, термообработке и при обработке резанием. С течением времени внутренние напряжения постепенно выравниваются и уменьшаются, при этом деталь деформируется. Особенно активно коробится заготовка в процессе обработки, когда снимаются поверхностные слои, имеющие наибольшие напряжения. Происходят перераспределение напряжений и деформация заготовки. Для уменьшения воздействия этих деформаций на окончательные результаты обработки черновые проходы необходимо отделить от чистовых, во время выполнения которых производятся исправление формы детали и достижение требуемых размеров. Для достижения высоких точностей между черновыми и чистовыми операциями следует выполнять естественное или искусственное старение.

§ 10. ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СВЯЗИ С НЕЖЕСТКОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Станок, приспособление, режущий инструмент и деталь в процессе обработки представляют собой упругую систему, которую для краткости называют системой СПИД. Силы резания при обработке вызывают упругие деформации отдельных элементов системы, упругие деформации в местах соединений деталей механизмов, а также смещения в этих стыках.

Под жесткостью упругой системы понимают ее способность оказывать сопротивление деформирующему действию внешних сил. При отсутствии достаточной жесткости под действием силы резания система деформируется, что приводит к возникновению погрешностей формы и получению неправильных размеров. Таким образом, точность обработки в большой степени зависит от жесткости системы. В неменьшей степени от жесткости зависят условия резания без вибраций.

Если нагружать технологическую систему силами $P_у$ и измерять возникающие деформации y, то можно установить некоторую, чаще всего нелинейную, зависимость $P_y = f(y)$ деформации от силы (кривая *1* на рис. 25). В качестве критерия жесткости принято отношение приращения ΔP_y радиальной составляющей силы реза-

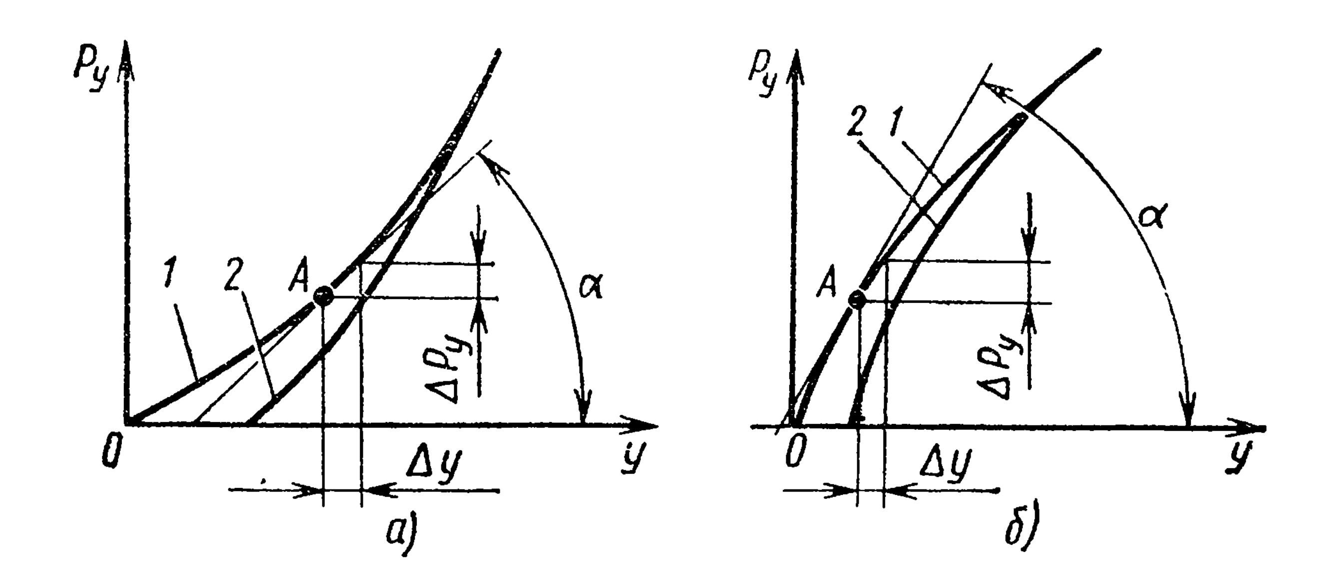


Рис. 25. Диаграмма жесткости:

а — система без натяга; *б* — система с предварительным натягом

ния, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к приращению отсчитанной в том же направлении деформации Δy между режущей кромкой инструмента и поверхностью детали: $j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}$, где j — жесткость системы, Н/м; ΔP_y — приращение радиальной составляющей силы резания, Н; Δy — приращение смещения режущей кромки инструмента, соответствующее приращению нагрузки, м.

Для оценки жесткости в любой точке А кривой $P_y = f(y)$ необходимо найти производную в данной точке $y' = j_A = \frac{dP_y}{dy}$. Численно производная равна тангенсу угла α наклона касательной к кривой в точке *А*. Кривые *2* разгрузки чаще всего не совпадают с кривыми *1* нагрузки, а площадь, заключенная между кривыми *1* и *2*, отражает работу сил трения.

Жесткость станка зависит от конструктивного исполнения, в частности от предварительного натяга отдельных механизмов, и от качества сборки. Для многих станков жесткость, или обратная ей величина — податливость, регламентирована требованиями ГОСТа.

В ходе обработки заготовки погрешности формы и пространственные отклонения при каждом последующем проходе инструмента будут уменьшаться. Отношение погрешности Δb, полученной после обработки, к погрешности Δa, имевшейся до обработки, называется коэффициентом уточнения $K_{\text{ут}} = \Delta b/\Delta a$. Поскольку погрешности заготовки не исчезают полностью, а лишь уменьшаются, можно говорить о копировании и наследовании погрешностей заготовки. Целесообразно на каждом последующем проходе сокращать величину снимаемого припуска. Чем выше жесткость станка, тем за меньшее число проходов может быть достигнута требуемая точность. Погрешности окончательно обработанной детали, представляют собой совокупность как остаточных погрешностей, так и погрешностей, возникающих при выполнении окончательных проходов инструментов.

§ 11. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ. КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Неточность обработки вызывается действием многих факторов, одни из которых имеют вполне закономерный характер, а другие проявляются без какой-либо ясной связи с процессом обработки. Первые создают систематические погрешности, вторые случайные.

Систематические погрешности могут оставаться постоянными для всей партии деталей либо закономерно изменять свое значение по ходу технологического процесса, в этом случае их называют переменными.

Примерами постоянных систематических погрешностей являются погрешности, полученные в связи с неправильной настройкой инструмента на размер, или погрешности, возникающие из-за непрямолинейности станины и т. п. Переменные систематические погрешности возникают при износе инструмента, при температурной деформации технологической системы и др.

Случайные погрешности возникают от действия множества различных, не связанных между собой зависимостью причин, носящих случайный характер, например вследствие неоднородности и неодинаковой твердости обрабатываемого материала, колебаний величины припуска и т. п.

Случайные и переменные систематические погрешности вызывают рассеяние размеров в партии деталей. Подметить закономерности в процессах, носящих случайный характер, помогают методы математической статистики, основанные на теории вероятности.

Прежде всего на конкретном примере ознакомимся с построением кривых распределения. Проконтролируем какой-нибудь параметр в партии из 50 деталей, например, наружный диаметр вала $50_{-0,03}$ мм, проточенного на токарном станке с ЧПУ, разобьем результаты измерений на группы с одинаковыми отклонениями в пределах определенного интервала (табл. 11).

В приведенном примере размеры разбиты на семь групп через интервалы в 0,004 мм. В таблице указаны абсолютная частота появления размеров внутри каждого интервала и частость, равная

11. Частота и частость размеров в партии

Интервалы размеров, мм	Абсолютная частота, m	Относительная частота (частость) $m : N$
Св. 49,972 до 49,976	1	0,02
» 49,976 » 49,980	4	0,08
» 49,980 » 49,984	9	0,18
» 49,984 » 49,988	19	0,38
» 49,988 » 49,992	10	0,20
» 49,992 » 49,996	5	0,10
» 49,996 » 50,000	2	0,04

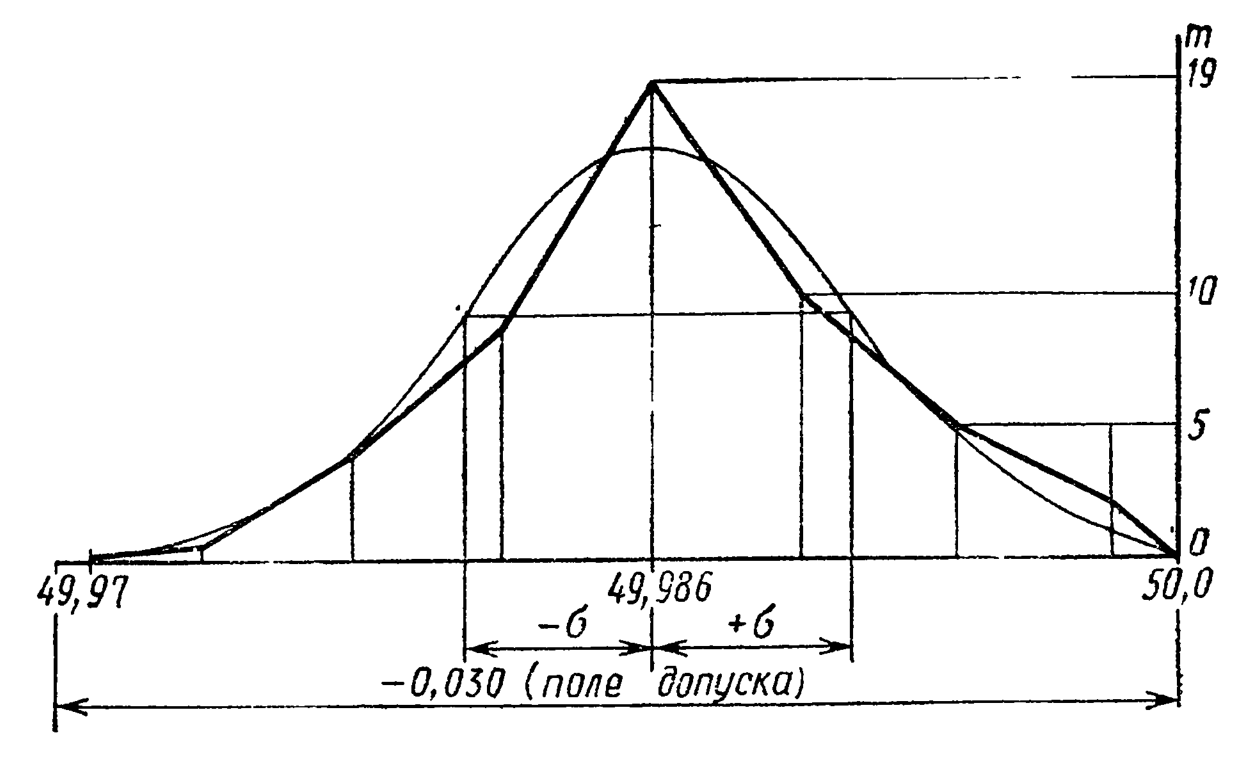


Рис. 26. Кривая распределения размеров

отношению $m : N$, где N — общее число измерений. Результаты можно изобразить графически кривой распределения. Откладывая по оси абсцисс размеры или отклонения, а по оси ординат — частоту m для каждого интервала размеров (или частость), получим ломаную линию, которая при увеличении числа измерений и числа интервалов будет приближаться к плавной кривой (рис. 26).

Разность между наибольшим и наименьшим размерами, полученными при измерении, определяет величину (поле) рассеяния размеров. Во избежание брака величина рассеяния должна быть не больше допуска на обработку.

Если при обработке возникают только случайные погрешности, то кривая распределения имеет симметричную форму. Эта форма не меняется при действии постоянной систематической погрешности; кривая в этом случае смещается в направлении оси абсцисс.

Кривые распределения характеризуют точность обработки. Уменьшение поля рассеяния и увеличение частости свидетельствуют о стабильности технологического процесса, по положению кривой на оси абсцисс судят о действии постоянных систематических погрешностей.

Случайные погрешности подчиняются закону нормального распределения, который характеризуется графически кривой Гаусса (рис. 27), имеющей симметричную форму со скругленной вершиной и с каждой стороны по одной точке перегиба A и B на некотором расстоянии от вершины, за которыми обе ветви кривой обращены выпуклостью книзу и приближаются асимптотически к оси абсцисс. Уравнение кривой нормального распределения имеет следующий вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где y — частость появления погрешности; σ — среднее квадратическое отклонение аргумента, т. е. квадратный корень из средней

арифметической квадратов всех отклонений; $\pi = 3{,}14..$, $e = 2{,}718...$ — основание натуральных логарифмов; x — отклонение действительных размеров от средних; $x = x_i - x_{ср}$ (x_i — действительные размеры; $x_{ср}$ — средние размеры).

Если детали в партии разбиты на группы по интервалам размеров, то средний размер деталей в партии $x_{ср}$ равен среднему арифметическому из размеров всех деталей всех групп:

$$x_{ср} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \quad + m_kx_k}{N} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i m_i}{N},$$

где m_1, m_2, ..., m_k — число деталей в каждой группе; x_1, x_2, ..., ..., x_k — размеры отдельных групп деталей, средние размеры каждого интервала; N — общее число измеренных деталей в партии; $N = m_1 + m_2 + ... + m_k$; k — число групп, число интервалов.

Для рассматриваемого случая

$$x_{ср} = \frac{49{,}974 + 4\cdot 49{,}978 + 9\cdot 49{,}982 + 19\cdot 49{,}986 + 10\cdot 49{,}990 + 5\cdot 49{,}994 + 2\cdot 49{,}998}{50} = 49{,}986.$$

Среднее арифметическое на графике кривой распределения совпадает с центром группирования и почти совпадает с серединой поля допуска 49,985.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{m_1(x_1 - x_{ср})^2 + m_2(x_2 - x_{ср})^2 + \cdots + m_k(x_k - x_{ср})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} m_i(x_i - x_{ср})^2}{N}},$$

где $x_1 - x_{ср}$, $x_2 - x_{ср}$, ..., $x_k - x_{ср}$ — отклонения действительных размеров от среднего арифметического в каждой группе деталей. Подсчитаем среднее квадратическое отклонение для данного случая (табл. 12).

Расчет надо вести последовательно по столбцам таблицы.

В пятом столбце внесены квадраты величин предыдущего столбца, которые для удобства расчета умножены на 10^6 (практи-

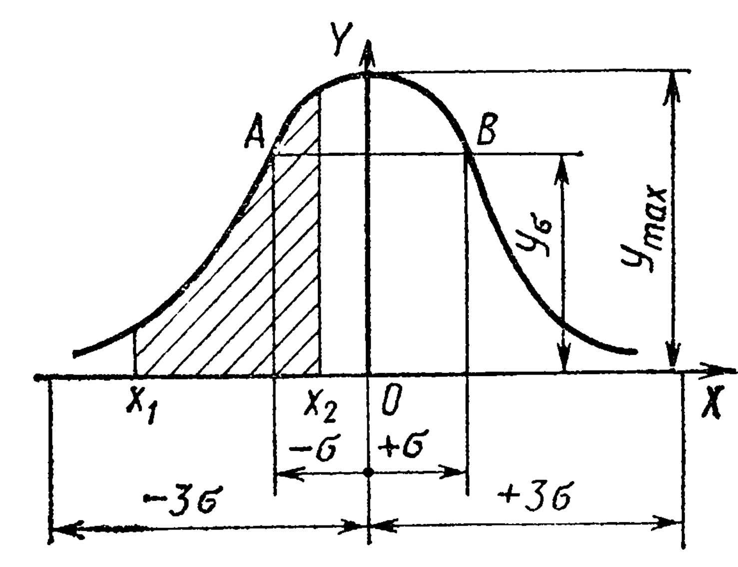


Рис. 27. Кривая нормального распределения

12. Расчет среднего квадратического отклонения σ

Размеры, мм	x_i, мм	m_i	$x_i - x_{ср}$, мм	$(x_i - x_{ср})^2 \times 10^6$	$(x_i - x_{ср})^2 \times 10^6 m_i$
Св. 49,972 до 49,976	49,974	1	−0,012	+144	144
» 49,976 » 49,980	49,978	4	−0,008	+64	256
» 49,980 » 49,984	49,982	9	−0,004	+16	144
» 49,984 » 49,988	49,986	19	0	0	0
» 49,988 » 49,992	49,990	10	+0,004	+16	160
» 49,992 » 49,996	49,994	5	+0,008	+64	320
» 49,996 » 50,000	49,998	2	+0,012	+144	288

$\sum = 1312$

чески отклонения в миллиметрах переведены в отклонения в микрометрах).

В итоге при суммировании последнего столбца получаем, что

$$\sum_{i=1}^{k} m(x_i - x_{ср})^2 = 1312 \cdot 10^{-6}.$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i (x_1 - x_{ср})^2}{N}} = \sqrt{\frac{1312 \cdot 10^{-6}}{50}} = 0{,}00512 \text{ мм}.$$

Среднее квадратическое отклонение σ является единственным параметром, определяющим форму кривой нормального распределения, так как остальные члены в уравнении кривой (π, e) являются постоянными величинами. Чем больше σ, тем более растянута кривая, т. е. больше рассеяние размеров. В интервале абсцисс $x = \pm 3\sigma$ находится 99,7 % всех обрабатываемых деталей. Следовательно, если допуск на обработку больше 6σ, то поле рассеяния размеров и погрешность обработки меньше допуска и все детали окажутся годными.

Вся ограниченная кривой распределения и осью абсцисс площадь определяет в некотором масштабе полное число деталей, по результатам измерения которых построена кривая. Часть площади, заключенная между ординатами из точек x_1 и x_2 кривой распределения и осью абсцисс (на рис. 27 заштрихована), соответствует в том же масштабе числу заготовок, размеры которых лежат в интервале x_2—x_1. Вероятность получения заготовок в интервале размеров x_2— x_1 определяется отношением заштрихованной площади ко всей площади, ограниченной кривой распределения и осью асбцисс.

Опыт показывает, что кривые распределения размеров деталей, обработанных на станках с программным управлением прак-

тически совпадают с кривыми нормального распределения. Этот важный вывод позволяет производить анализ точности и предвидеть результаты обработки, используя зависимости, установленные законом нормального распределения.

Максимальная ордината $y_{max} = 0,4 \frac{N \Delta x}{\sigma}$, где Δx — интервал размеров. Ордината точек перегиба (для $x = 0,24\sigma$) $y_\sigma = 0,24 \frac{N \Delta x}{\sigma}$. Величина поля рассеяния $y_{max} - x_{min} = \pm 3\sigma = 6\sigma$.

Для данного случая величина поля рассеяния $x_{max} - x_{min} = 6 \cdot 0,00512 = 0,031$ мм незначительно превышает допуск (0,030 мм). Практически в проверенной партии не встретилось ни одного случая брака, однако, поскольку поле рассеяния превышает допуск, имеется теоретическая вероятность его появления.

§ 12. МЕТОД ТОЧЕЧНЫХ ДИАГРАММ

Кривые распределения отражают точность завершенного этапа технологического процесса. Они совершенно не учитывают последовательности обработки деталей. Переменные систематические погрешности не отделяются от случайных. Распределение размеров отражает совокупное влияние обоих видов погрешностей.

От указанного недостатка свободен статистический метод точечных диаграмм. При этом методе графически изображают изменение размеров обрабатываемых деталей в последовательности их обработки. По оси абсцисс откладывают номера последовательно обрабатываемых деталей, а по оси ординат — полученные при обработке размеры.

Для того чтобы точечная диаграмма не получилась очень длинной, партию разбивают на группы из нескольких деталей. В этом случае по оси абсцисс откладывают номер группы, а по оси ординат располагают точки, соответствующие размерам деталей данной группы. Чтобы вскрыть закономерность в изменении размеров, вместо нескольких точек на одной вертикали наносят одну точку, отвечающую среднему размеру деталей данной группы. Эти точки соединяют линией.

Построим точечную диаграмму (рис. 28) по результатам проверки наружных диаметров 50 мм той же партии валов, зафиксировав порядок обработки (табл. 13).

По точечной диаграмме можно судить о закономерностях в действии переменной систематической погрешности и случайных погрешностей. В результате размерного износа резца средние размеры в группе постепенно увеличиваются от 49,979 до 49,996 мм. Наибольшая разница между наибольшим $D_{наиб}$ и наименьшим $D_{наим}$ размерами деталей, входящих в группу, составляет 0,008 мм (детали № 40 и № 36). Последний параметр называют размахом распределения:

$$W = D_{наиб} - D_{наим}.$$

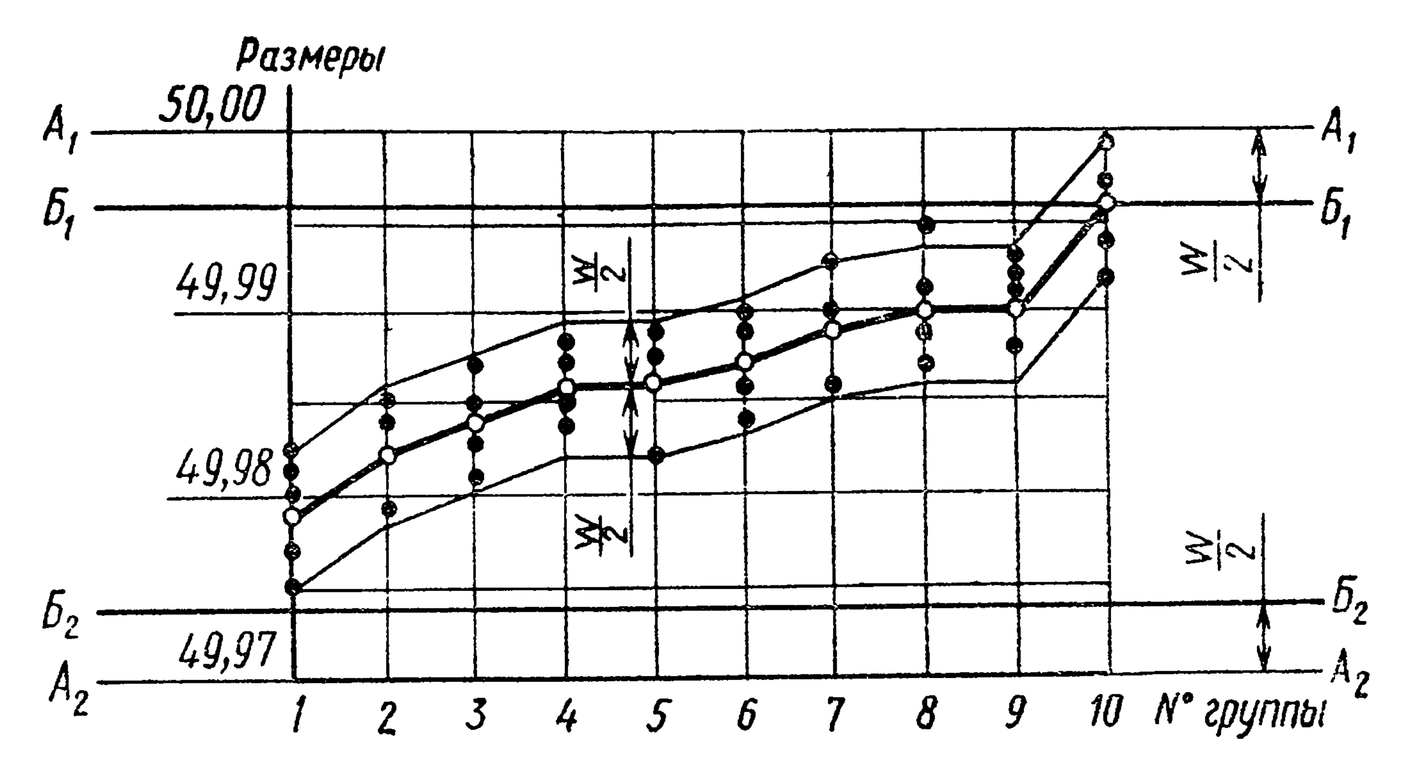


Рис. 28. Точечная диаграмма

Среднее значение для всех групп $W_{ср} = \frac{W_1 + W_2 + \cdots + W_k}{k}$;

$$W_{ср} = \frac{0{,}007 + 0{,}006 + 0{,}006 + 0{,}004 + 0{,}007 + 0{,}006 + 0{,}007 + 0{,}008 + 0{,}005 + 0{,}007}{10} = 0{,}0063 \text{ мм}.$$

Для данного случая число групп $k = 10$.

Размах распределения характеризует собственно случайные погрешности обработки.

На точечной диаграмме прямая A_1—A_1 ограничивает верхнюю границу поля допуска, прямая A_2—A_2 — нижнюю границу поля допуска. Кроме кривой линии, соединяющей средние размеры, проведем с обеих сторон две кривые, параллельные средней, на расстоянии $W/2$. Ниже прямой A_1—A_1 и выше прямой A_2—A_2 проведем две прямые $Б_1$—$Б_1$ и $Б_2$—$Б_2$ также на расстоянии $W/2$. Нижняя прямая $Б_2$—$Б_2$ характеризует уровень наладки, а верхняя контрольная прямая $Б_1$—$Б_1$ — уровень подналадки. Если настроить станок таким образом, чтобы средний размер первой группы (установочный размер) лежал несколько выше уровня наладки (учитывая дальнейшее увеличение размеров от изнашивания резца), то подналадку станка необходимо будет выполнять реже, чем при других вариантах наладок, и в то же время исключено появление брака. По мере изнашивания инструмента необходимо следить, чтобы размер детали не превышал значения контрольной линии $Б_1$—$Б_1$ и не следует допускать, чтобы средний групповой размер превысил это значение.

В данном примере обработки вала диаметром 50 мм средний размер последней группы достиг уровня прямой $Б_1$—$Б_1$. Значительное возрастание размеров в последней группе свидетельствует о том, что размерное изнашивание резца достигло стадии интенсивного, и резец следовало заменить после обработки 44-й детали. Наш вывод о вероятности появления брака при точении вала ди-

13. Результаты проверки наружного диаметра вала, мм

Порядковый номер детали	Размер	Средний размер в группе	Порядковый номер детали	Размер	Средний размер в группе
1 2 3 4 5	49,977 49,975 49,980 49,981 49,982	49,979	26 27 28 29 30	49,984 49,986 49,990 49,987 49,989	49,987
6 7 8 9 10	49,979 49,979 49,984 49,985 49,985	49,982	31 32 33 34 35	49,986 49,986 49,989 49,993 49,990	49,989
11 12 13 14 15	49,985 49,981 49,983 49,987 49,983	49,984	36 37 38 39 40	49,987 49,989 49,990 49,991 49,995	49,990
16 17 18 19 20	49,987 49,984 49,988 49,988 49,985	49,986	41 42 43 44 45	49,992 49,988 49,988 49,993 49,991	49,990
21 22 23 24 25	49,986 49,982 49,989 49,988 49,988	49,986	46 47 48 49 50	49,994 49,992 49,997 49,999 49,999	49,996

аметром 50 мм, сделанный на основе кривых распределения, теперь может быть углублен и уточнен. Мы узнали из точечной диаграммы, что рассеяние размеров под воздействием случайных факторов невелико и позволяет уложиться при обработке в поле допуска. Требуется своевременно принимать решение о корректировке размеров. Например, если бы подналадка была выполнена после 45-детали, среднее квадратическое было бы равно не 0,00512, а 0,0042 мм; величина поля рассеяния 6σ была бы равна 0,0252 мм (меньше допуска 0,03 мм), и мы сделали бы вывод о стабильности технологического процесса.

Полную картину точности обработки дает сочетание расчетно-аналитического и обоих статистических методов исследования точности, так как эти методы дополняют друг друга. Расчеты выполняют для наиболее существенных погрешностей при освоении новых типовых технологических процессов, а статистические методы применяют в условиях устоявшегося серийного производства.

§ 13. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ

Важнейшим условием достижения высоких точностей является учет зоны нечувствительности при перемещениях рабочих органов. Зона нечувствительности проявляется в том, что при изменении направления движения на противоположное рабочие органы некоторое время не начинают движения в новом направлении, что может явиться причиной возникновения погрешности обработки. Существует несколько решений, которые снижают или полностью устраняют вероятность появления погрешности.

На многих станках с позиционной системой управления автоматически осуществляется подход к заданной координате всегда с одной стороны независимо от задания направления движения. В современных станках с устройствами ЧПУ третьего поколения производится автоматическая компенсация зоны нечувствительности за счет дополнительного перемещения при каждом реверсировании движения. В этом случае величина зоны нечувствительности набирается на декадных переключателях или вводится в память устройства.

Опытом установлено, что при продольном чистовом точении на токарных станках с шаговым приводом чистота поверхности и погрешности геометрической формы получаются хуже, чем на станках, оснащенных другими типами приводов, и даже в сравнении со станками с ручным управлением. Это объясняется тем, что при малых подачах (15—50 мм/мин) проявляются импульсные свойства шагового двигателя. Обычно поворот ротора двигателя на угол 1,5° осуществляется при поступлении на обмотку статора управляющего импульса, после чего следует остановка до тех пор, пока на обмотку статора не поступит следующий импульс. При малой частоте следования импульсов происходит чередование скачков и остановов и лишь при возрастании частоты движение переходит в непрерывное. Исследования, выполненные в ЭНИМСе, показали, что при обычной для отечественных токарных станков дискрете в 0,005 мм прерывистое движение осуществлялось на скорости поперечных салазок, меньше 30—37,5 мм/мин, и при цене в 0,01 мм прерывистое движение каретки происходило на скоростях до 60—70 мм/мин.

Глава V

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ НАЛАДКА

§ 1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СТАНКАХ С ЧПУ

Гидравлические системы широко применяют в конструкциях станков с ЧПУ. Можно отметить следующие области применения гидросистем: приводы подач рабочих органов станков, привод главного движения, органы управления, приводы механизмов

вспомогательных движений и действий, гидростатические опоры шпинделей и направляющие рабочих органов.

В настоящее время все более широко применяют в приводах подач электрический привод вместо гидравлического для осуществления управляемых перемещений рабочих органов, однако это не означает полного отказа от применения гидросистем в станках с ЧПУ. Для осуществления вспомогательных перемещений пока гидравлическим приводам нет достойной замены, что в большинстве случаев заставляет изготовителей станков сохранять гидропривод в конструкции станка.

Гидравлические приводы, применяемые в станках с ЧПУ, можно разделить на две группы: незамкнутые системы на основе электрогидравлического шагового привода и системы с обратной связью (замкнутые).

В системах первой группы последовательность импульсов, определяемая программой, поступает на электрический шаговый двигатель, который вращает входной вал гидравлического усилителя крутящих моментов, выходной вал последнего непосредственно или через зубчатый редуктор соединен с ходовым винтом станка. Выходной вал усилителя отслеживает поворот входного вала при многократном увеличении крутящего момента на выходе по сравнению с крутящим моментом на входе.

В системах второй группы устройство ЧПУ посылает электрические сигналы, соответствующие заданному программой перемещению и скорости по каждой из управляемых координат, в узел сравнения. В этот же узел от датчиков обратной связи, установленных на рабочих органах, поступают сигналы о фактических перемещениях и скоростях. В узле сравнения заданные и фактические величины сопоставляются, а сигнал рассогласования подается на электрогидравлический следящий гидрораспределитель, который состоит из электромеханического преобразователя и управляемого им распределительного устройства гидросистемы, изменяющего направление и скорость движения исполнительного двигателя в сторону уменьшения сигнала рассогласования (уменьшения ошибки положения рабочего органа).

Актуальность изучения особенностей эксплуатации гидравлических систем подчеркивается широтой использования гидравлики в станках с ЧПУ.

§ 2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И СМАЗОЧНЫХ СИСТЕМ

В гидроприводе станков в качестве рабочих жидкостей применяют минеральные масла. Важнейшими показателями рабочих жидкостей являются такие параметры, как вязкость и ее зависимость от температуры, сжимаемость, растворимость воздуха, смазывающая способность, устойчивость к окислению и антикоррозионные свойства.

14. Масла для гидравлических и смазочных систем

Назначение масла	СССР	ГДР	Венгрия	Фирмы		
				Mobil Oil	Shell	Esso
Для шпиндельных подшипников	Вазелиновое	HV-S10	HP0	Oil N.3	Oel S. 4919 Oel S. 5585	Somentor 33
	Идустриальное И-12А	HV-S10 HV-S15	HP1 HLP 40	Oil N.4 Oil N.6	Tellus Oel. 11 Tellus Oel 15.	Nuto H32 Spinesso 34
Для подшипников и механизмов передач	Индустриальное	HV-S20	HL PSO	DTE-23	Vitrea Oel 21 Vitrea Oel 27	Spinesso 38
	И-12А И-20А И-30А	HV-S25 HV-S45 HV-S65	HLP 65, 100 HLP 125, 175	DTE-24	Vitrea Oel 31, 33. Vitrea Oel 37, 41.	Esstic 42 Esstic 50, 55
	АСП-10 АК-15	HV-S85	GR 150EP GR 300EP	VACTRA 2 VACTRA 3	Macoma Oel W 37 Macoma Oel W 71	Pen-o-Led-EP2 EP2
Для направляющих	Турбинное Т46+5 % олеина	HA-BE55	HP 20C	Vactra N. 2		FEBIS 50
	АК-15+5 % олеина	HA-BE120	HP 60C	Dorcia N. 30 Vacudline	Tonna Oel 21 Tonna Oel 27	FEBIS K53 FEBIS K73
	ВНИИНП-401	—	—	Oil 1405	Tonna Oel 72	FEBIS 42
Для гидросистем	Масло ЭШ И-20А	HV-S25	HLP 65	DTE Light	Tellus Oil 27	Esstic 42
	Турбинное Т22; Т22П	HV-S45	HLP 100	Heary Medium	Tellus Oil 29	Esstic 50
	Т30	HV-585	HLP 125	DTE Heary Light	Tellus Oil 33	Esstic 55
	Т46	—	—		—	—

Вязкость жидкости — это способность ее слоев сопротивляться скольжению или сдвигу, вязкость характеризуется силами межмолекулярного взаимодействия. Для гидросистем выбирают масла (за редким исключением) с меньшей вязкостью, чем для смазочных систем, но с достаточной для обеспечения смазывания трущихся деталей гидрооборудования.

Механическая смесь воздуха с маслом обладает большой устойчивостью во времени. Она значительно ухудшает работу насосов, резко снижает коэффициент полезного действия и уменьшает производительность. При наличии в масле воздуха ухудшаются смазывающие свойства масел, усиливается коррозия деталей гидрооборудования, масла более интенсивно разрушаются, происходит засорение фильтрующих устройств. Кроме того, ухудшается работа гидросистемы в целом из-за понижения жесткости гидропривода, происходит запаздывание срабатывания аппаратуры, нарушается равномерность перемещения, работа сопровождается шумом и вибрациями.

Для лучшего отделения воздуха, предотвращения коррозии, уменьшения трения и износа в гидросистемах в состав рабочих жидкостей вводят противопенные, антикоррозийные, противоокислительные, противоизносные и антифрикционные противозадирные присадки.

Под устойчивостью жидкости к окислению подразумевается способность ее в течение длительного времени сохранять рабочее состояние. При повышении температуры на 100 °С интенсивность окисления практически удваивается.

Всем требованиям гидравлических систем станков с ЧПУ в наибольшей степени отвечают минеральные турбинные масла Т22 и Т30 по ГОСТ 32—74. В виде исключения возможна эксплуатация систем на индустриальном масле И-20А по ГОСТ 20799—75, имеющем меньший сток службы.

После первого запуска гидравлической системы необходимо заменить рабочую жидкость через 200—1000 ч эксплуатации. В особых случаях, когда первую заливку масла проводили для интенсивного промывания гидросистемы, жидкость меняют после 2—3 ч работы.

В дальнейшем жидкость нужно менять через несколько тысяч часов эксплуатации. В основном время зависит от качества масла и условий его эксплуатации. На первое место следует выделить температурный режим, оптимальной является температрараура 40—50 °С с предельной температурой +65 °С.

В табл. 14 приведены масла, применяемые для гидросистем и смазывания станков.

§ 3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ГИДРОСИСТЕМАМ

К эксплуатационным требованиям относятся чистота гидросистем, герметичность, стабилизация температуры

Источником загрязнения может явиться пыль и другие ча-

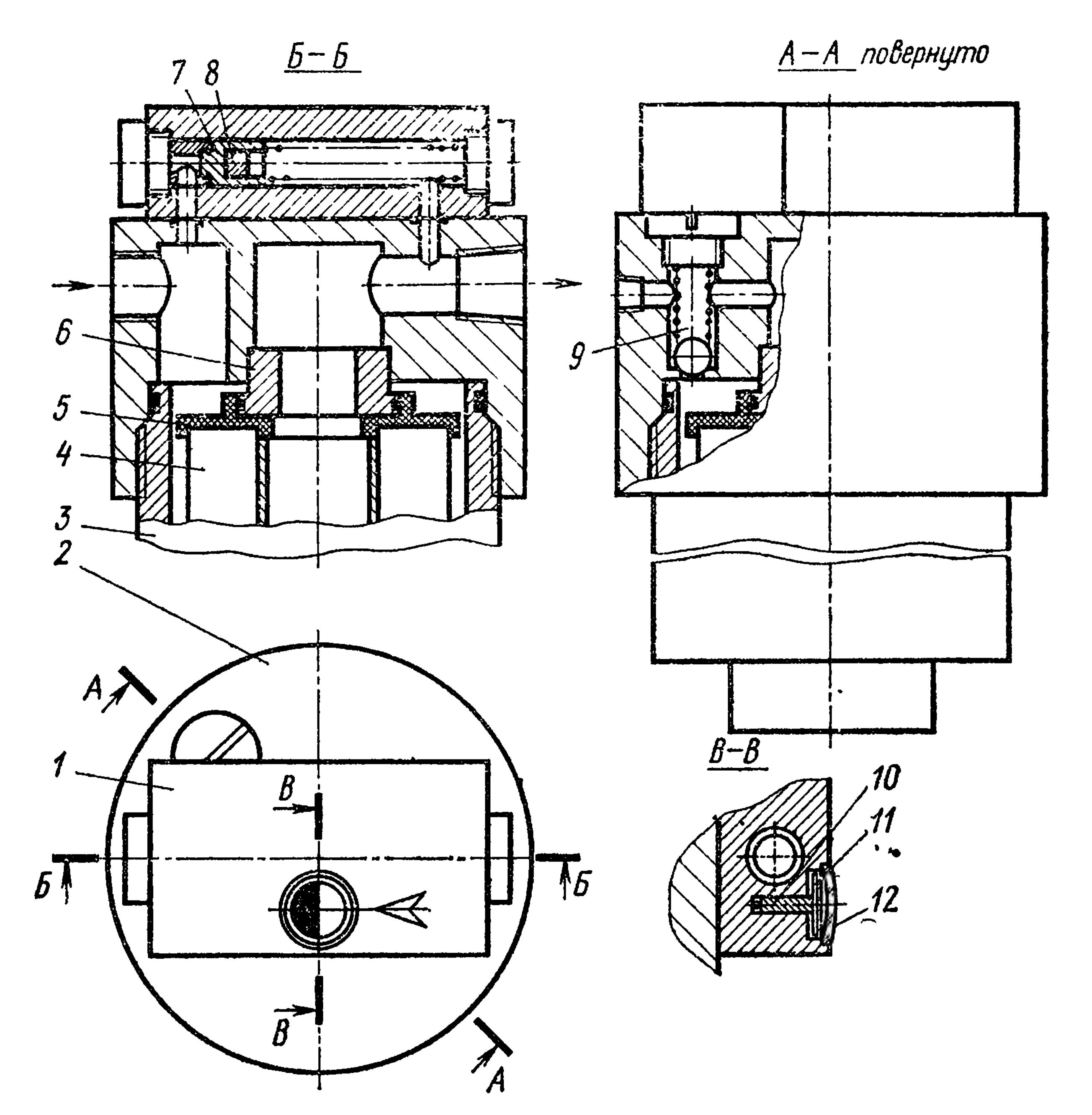


Рис. 29. Фильтр тонкой очистки

стицы, попадающие в систему из окружающей среды в период эксплуатации, ремонта или при заливании рабочей жидкости. Твердые частицы загрязнений разрывают масляную пленку, ухудшая режим смазывания, закупоривают щели дросселей и проходы каналов малого сечения, ухудшают работу гидрораспределителей следящих систем. Загрязнения приводят к заклиниванию движущихся деталей гидрооборудования, вызывая скачкообразное движение привода. Даже очень мелкие абразивные частицы, проходя с высокой скоростью через зазоры трущихся пар, вызывают их износ.

Для заливания масла в резервуары следует использовать заправочно-фильтрующие установки, перекачивающие масло из емкости в емкость через фильтры. Для очистки масел в гидросистемах станков с ЧПУ широко применяют пористые фильтры тонкой очистки, оснащенные бумажными поверхностными фильтрующими элементами, обеспечивающими тонкость фильтрования до 5—10 мкм. Для защиты сервогидрораспределителей гидросистем станков с ЧПУ, оснащенных обратной связью, применяют пористые керамические фильтры с номинальной тонкостью фильтрования до 1 мкм.

Фильтр (рис. 29) предназначен для фильтрования масел в диапазоне температур 1—80 °С при температуре окружающей среды 1—50 °С. Фильтр состоит из следующих основных частей: индика-

торного блока *1*, головки *2*, стакана *3* и фильтрующего элемента, представляющего собой гофрированный цилиндр *4* из фильтровальной бумаги, к торцам которого прикреплены пластмассовые шайбы *5*. Головка имеет входную и выходную полости, в ней находятся перепускной клапан *9* и седло *6* для фиксирования фильтрующего элемента. Индикаторный блок сигнализирует о засорении фильтрующего элемента.

При работе гидравлической системы масло проходит через входную полость внутрь фильтра, далее сквозь фильтрующий элемент в выходную полость. При повышении перепада давлений в полостях вследствие засорения фильтрующего элемента подпружиненный плунжер *7* с магнитом *8* переместится вправо до упора. Это перемещение вызовет поворот магнита *10* и индикатора *11*. Через глазок *12* можно наблюдать поворот красного поля, нанесенного на индикаторе, в сторону стрелки на корпусе индикаторного блока. В этом случае нужно произвести замену фильтрующего элемента. Если это сделано не будет, то наступит момент, когда перепад давлений возрастет настолько, что откроется перепускной клапан и часть неочищенного масла, минуя фильтрующий элемент, поступит в систему.

Потери рабочей жидкости в гидросистемах происходят вследствие ее утечек через уплотнительные устройства и соединения трубопроводов. Утечки можно свести к минимуму, если выполнять следующие мероприятия:

1) подтягивать регулярно соединения трубопроводов, на наружную резьбу соединений перед сборкой наматывать фторопластовую ленту, хорошо уплотняющую соединение;

2) регулировать все зазоры и затяжку уплотняющих устройств, сводя к нулю утечки в неподвижных соединениях и ограничивая утечки 2—5 каплями на 1000 ходов в валах, совершающих возвратно-поступательные движения;

3) не допускать деформирования труб и скручивания, перегибов, растяжения шлангов, так как это может привести к их разрыву;

4) следить за целостью грязеочистителей, чехлов и кожухов, защищающих элементы гидрооборудования от пыли, грязи и эмульсии.

Стремление уменьшить размеры гидростанции приводит к тому, что гидросистемы станков с ЧПУ имеют малогабаритные масляные резервуары, в связи с чем масло может перегреться, если не использовать специальные охлаждающие установки. Наиболее широко в станках с ЧПУ применяют водяные и воздушные теплообменники, реже — фреоновые холодильники.

В гидравлических станциях Г48-44, которые широко используют в станках с ЧПУ, смонтирован воздушный теплообменник. Он основан на обдувании двух радиаторов воздушным потоком, создаваемым вентилятором.

§ 4. ГИДРОСТАНЦИИ СТАНКОВ

Для станков, снабженных электрогидравлическим приводом подач, отечественная промышленность выпускает гидростанцию Г48-44. Гидростанция состоит из резервуара для масла вместимостью 200 л, насосного агрегата, систем подпитки, фильтрации и охлаждения рабочей жидкости, пружинного аккумулятора, контрольно-регулирующей аппаратуры. В гидростанции используют регулируемый аксиально-поршневой насос 2Г15-14, обеспечивающий изменение расхода жидкости от нуля до номинальной величины практически при постоянном давлении в напорной и сливной магистралях. При включении гидростанции (рис. 30) с пульта управления станком начинает работать электродвигатель *М2* привода пластинчатого насоса подпитки *Н2*. Масло из резервуара через фильтр тонкой очистки *Ф* под давлением, определяемым пружиной предохранительного клапана *КП*, поступает во всасывающую магистраль *12* насоса *Н1* и далее сливается в резервуар через подпорный клапан *ПК* и воздушный маслоохладитель *МО*. Поток масла для подпитывания: *Н2—1—Ф—2—4—КП—6—12—13—ПК—МО—15*—резервуар. Когда давление во всасывающей магистрали достигает требуемой величины, реле давления *РД1* дает команду на включение электродвигателя *М1* привода регулируемого насоса.

В момент включения распределитель запуска *РЗ* и реверсивный гидрораспределитель *П* с электроуправлением с помощью пружин установлены в крайнее верхнее положение, полости насоса *Н1* объединены (*11—16—22—РЗ—14—12*), благодаря чему

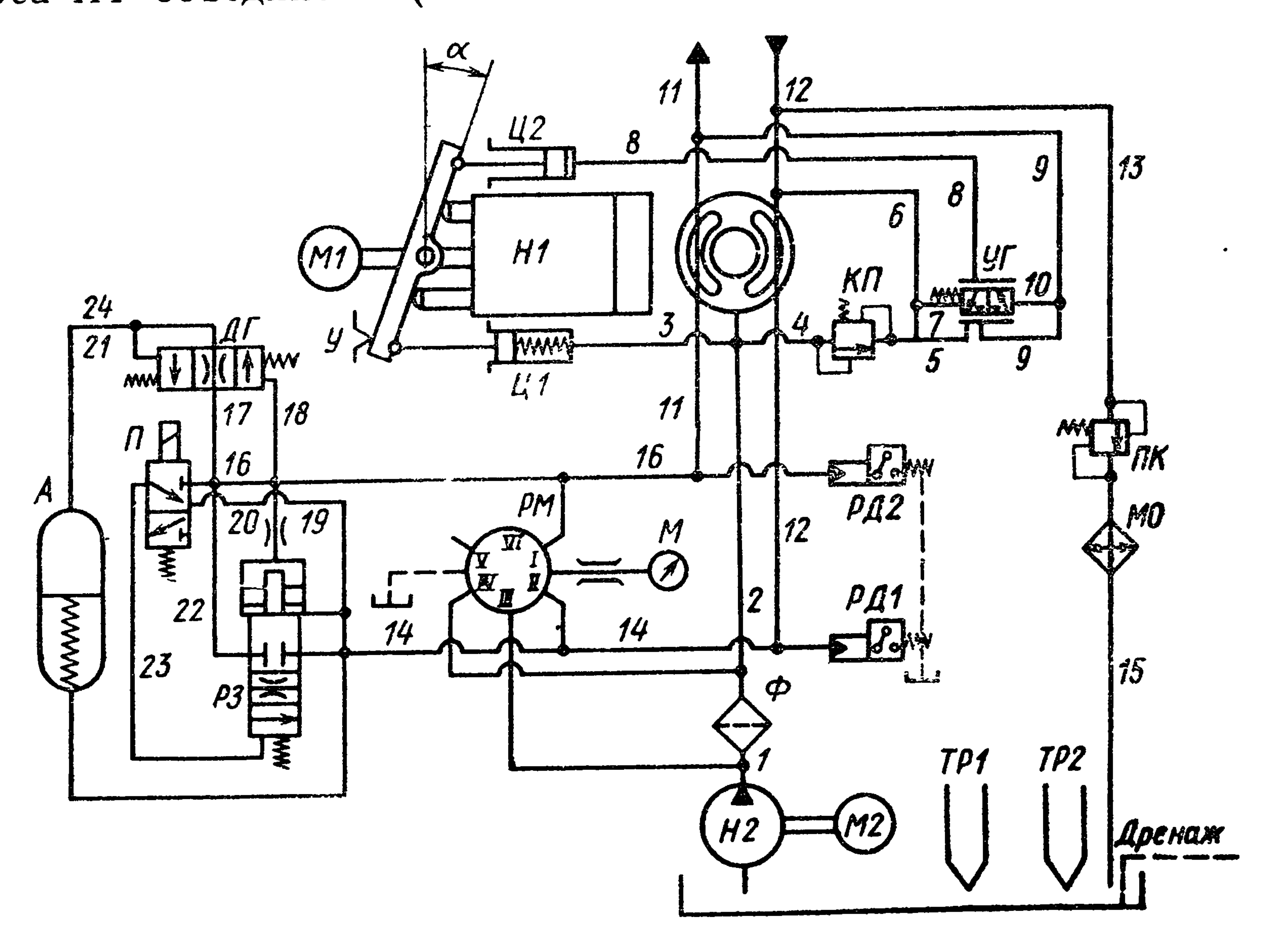


Рис. 30. Гидравлическая схема станции Г48-44

обеспечивается плавный запуск насоса *Н1*. При увеличении давления в напорной магистрали *11* масло через дроссель *19* поступает под управляющий поршень распределителя запуска *РЗ*, устанавливая последний в среднее положение, при котором полости насоса *Н1* соединяются между собой через дроссель. Параметры дросселя подбирают такими, чтобы потери в нем при номинальной производительности насоса составляли 0,6—0,7 от величины рабочего давления гидропривода. За счет дросселирования потока обеспечивается интенсивный разогрев масла в системе до температуры 30 °С в течение 8—10 мин, после чего термореле *ТР1* дает команду на включение электромагнита распределителя *П*. Нижняя торцовая полость распределителя запуска *РЗ* соединяется со всасывающей магистралью (*РЗ—23—П—20—14—12*), и под давлением масла в верхней торцовой полости распределитель запуска *РЗ* перемещается в крайнее нижнее положение, при котором полости насоса *Н1* разъединяются, после чего реле давления *РД2* дает команду, разрешающую запуск устройства ЧПУ. На пульте управления станком загорается сигнальная лампа зеленого цвета, указывающая на нормальную температуру масла в гидросистеме. Если температура выше 60 °С, термореле *ТР2* дает команду на включение сигнальной лампы красного цвета на пульте управления, предупреждающей о перегреве гидросистемы.

В процессе работы станции масло, подаваемое насосом подпитки *Н2*, поступает во всасывающую магистраль регулируемого насоса *Н1*, где оно перемешивается с маслом, циркулирующим по замкнутой системе насос — электроприводы подач. Из другой точки всасывающей магистрали *12*, расположенной на стыке с трубопроводом *13*, часть масла через клапан *ПК* и маслоохладитель *МО* сливается в резервуар. За счет этого обеспечивается постоянная смена масла в замкнутой системе циркуляции для его фильтрации и охлаждения.

Производительность насоса *Н1* определяется углом наклона α его наклонной шайбы, который, в свою очередь, зависит от величины давлений в цилиндрах управления *Ц1* и *Ц2*. Пружины, расположенные в корпусе насоса, и цилиндр *Ц1* стремятся увеличить угол наклона, а цилиндр *Ц2* действует в противоположном направлении. Масло поступает в цилиндр *Ц2* от управляющего гидрораспределителя *УГ*. Последний представляет собой двухкромочный золотниковый гидроусилитель, на плунжер которого действует с одной стороны регулирующее усилие пружины и давление во всасывающей магистрали (*12—6—7*), а с другой — давление в напорной магистрали (*11—9—10*).

Если давление в напорной магистрали ниже настроенного, полость цилиндра *Ц2* соединяется со всасывающей магистралью (*12—6—5—УГ—8—Ц2*), и пружины прижимают наклонную шайбу к упору, ограничивающему максимальный угол ее наклона. По мере роста давления в напорной магистрали плунжер управляющего гидрораспределителя смещается влево, сжимая пружину.

При этом давление в полости цилиндра *Ц2* увеличивается, так как в магистраль *8* начинает поступать масло из магистрали *9*, и угол α соответственно уменьшается.

При максимальном давлении магистрали *8* и *9* через *УГ* соединяются между собой, и цилиндр *Ц2* ставит наклонную шайбу в положение, близкое к нулевому, при котором подача насоса соответствует величине утечек жидкости в гидросистеме.

Плунжерный аккумулятор *А*, подключенный через дросселирующий гидрораспределитель *ДГ*, предназначен для сглаживания пульсации давления в гидросистеме при резком изменении скорости движения исполнительных органов. Манометр *М*, подключенный через распределитель *РМ*, служит для контроля методом опроса перепада давления на фильтре *Ф*, давлений в напорной и всасывающей магистралях и дополнительно в двух точках гидросистемы.

Гидростанция Г48-44 имеет следующие основные технические данные: рабочее давление 4000—6200 кПа; номинальный расход 100 л/мин, мощность электродвигателей привода регулируемого насоса 7,5 кВт и подпитки 0,8 кВт при номинальной частоте вращения 1000 об/мин.

§ 5. АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ НАСОСЫ

В корпусе насоса (рис. 31) на пальцах *19* для обеспечения возможности поворота установлена наклонная шайба *2*, в расточке которой размещен упорный шарикоподшипник *3*. Вместе с валом *1* от электродвигателя получает вращение барабан *18* с толкателями *17* и ротор *6* с рабочими камерами, в которых совершают возвратно-поступательное движение поршни *14*. Наличие давления во всасывающей магистрали, которое создается насосом подпитки гидростанции, обеспечивает на участке всасывания поджим через поршни *14* толкателей *17* к подшипнику наклонной шайбы. На участке нагнетания поршни *14* подают масло под высоким давлением в напорную магистраль. Ход поршней, а следовательно, и производительность насоса определяется углом наклона шайбы *6*. Пружина *13*, поршень *15* гидроцилиндра *12* (*Ц1* на рис. 30) и стержень *16* стремятся развернуть наклонную шайбу на максимальный угол. В цилиндре *12* под торец поршня *15* подается масло из напорной магистрали насоса подпитки. С противоположной стороны на наклонную шайбу воздействует через стержень *4* поршень *5* гидроцилиндра управления *7* (*Ц2* на рис. 30), изменяющий угол наклона шайбы. Давление в цилиндре *7* регулируется гидрораспределителем (*УГ* на рис. 30).

При отсутствии расхода жидкости в гидросистеме давление напорной магистрали, действующее снизу на грибок *10* управляющего золотника, преодолевает усилие пружины *9* и поднимает золотник вверх, соединяя полость цилиндра управления *7* с напорной магистралью. Давление в цилиндре *7* возрастает, и поршень через стержень *6* ставит наклонную шайбу в положение,

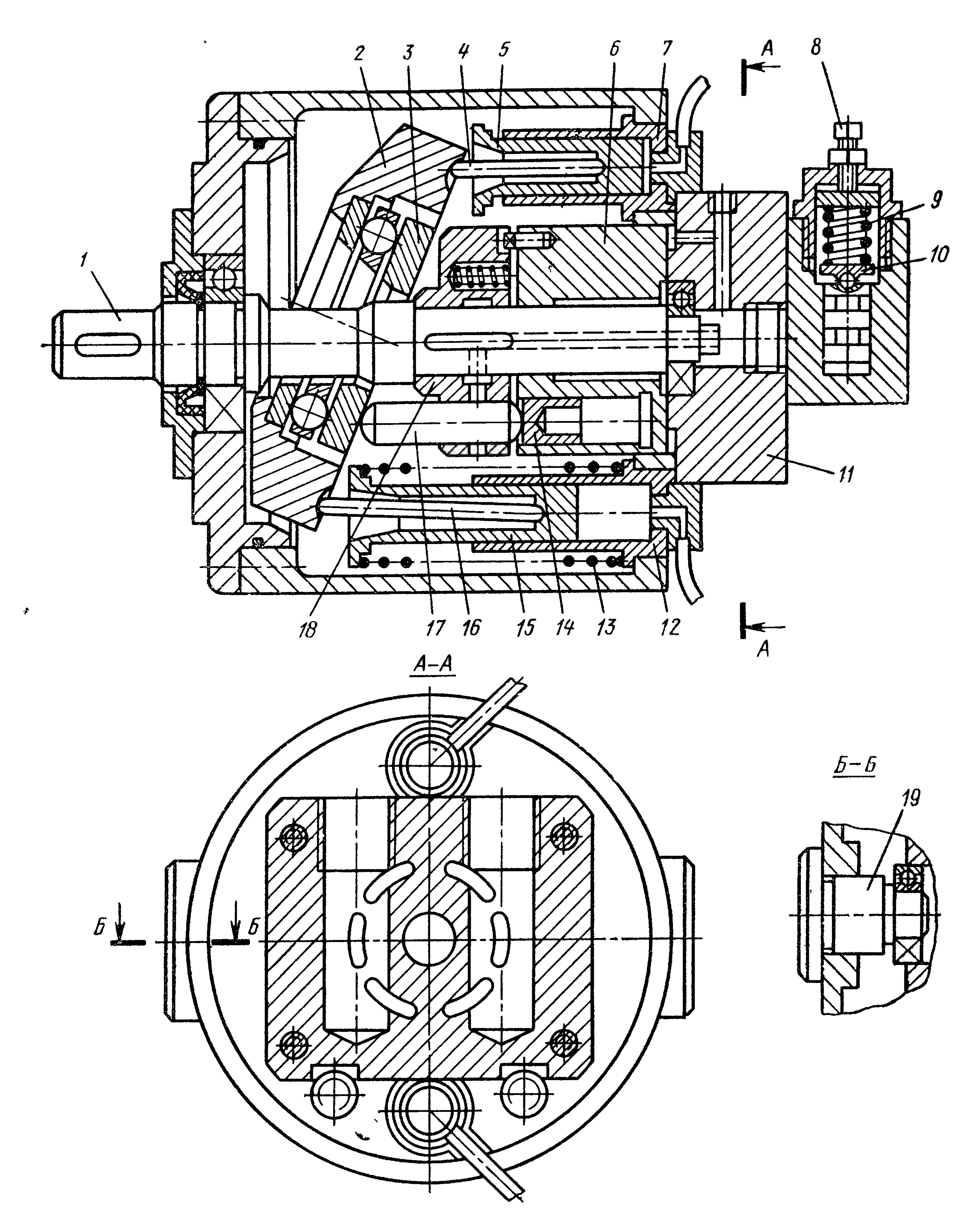


Рис. 31. Аксиально-поршневой регулируемый насос типа 2Г15-14

близкое к вертикальному, преодолевая усилие в полости цилиндра *12* и усилие пружины *13*. В этом положении производительность насоса равна величине утечек в гидросистеме и потребляемая насосом мощность не превышает 0,75 кВт. По мере увеличения расхода масла, поступающего в гидросистему, давление в напорной магистрали несколько уменьшается, и пружина *9* опускает грибок *10* золотника вниз, перекрывая поступление масла в цилиндр *7* из напорной магистрали, в результате чего дав-

ление в цилиндре убывает, а цилиндр *12* и пружины *13* разворачивают шайбу *2* на угол, соответствующий потребляемому расходу жидкости. Таким образом, подача масла насосом автоматически регулируется, поддерживая в системе заданное давление. Максимальный угол наклона шайбы равен 22°30′, при этом производительность насоса возрастает до максимальной.

На опорно-распределительном диске *11* выполнены полукольцевые пазы, через которые масло поступает в рабочие камеры ротора *6* на участке всасывания и вытесняется в напорную магистраль на участке нагнетания. Давление, обеспечиваемое насосом, настраивают винтом *8*, регулирующим пружину *9*. Направление вращения вала насоса — против часовой стрелки, если смотреть со стороны приводного вала электродвигателя.

§ 6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МОТОРЫ

Гидравлические моторы применяют для привода отдельных механизмов, а также используют совместно со следящими устройствами в гидравлических усилителях крутящих моментов Г18-2. Аксиально-поршневой гидромотор Г15-2 показан на рис. 32. Крутящий момент создается в результате взаимодействия толкателей *3* с кольцом *16* шарикоподшипника, запрессованного в наклонной расточке чугунного корпуса *2*, и передается через барабан *4* на вал *1* гидромотора. На толкатели *3* воздействуют плунжеры *6*, размещенные в роторе *7*, свободно сидящем на валу *1*. Во вращение ротор *7* приводится поводком *14*, входящим в паз барабана *4*. Каждое отверстие под толкатели *3* сообщается с центральным отверстием *9* (показано пунктиром) радиальными сверлениями *15*, через которые к толкателям подводится масло.

В опорно-распределительной плите *8*, прикрепленной винтами *12* к корпусу *5*, имеются два отверстия *10* для подвода и отвода масла. На торце диска имеются пазы *11*, разделенные перемычками *12*. Предусмотренные на перемычках канавки *13* предотвращают запирание масла под поршнями при переходе их из напорной полости в полость слива.

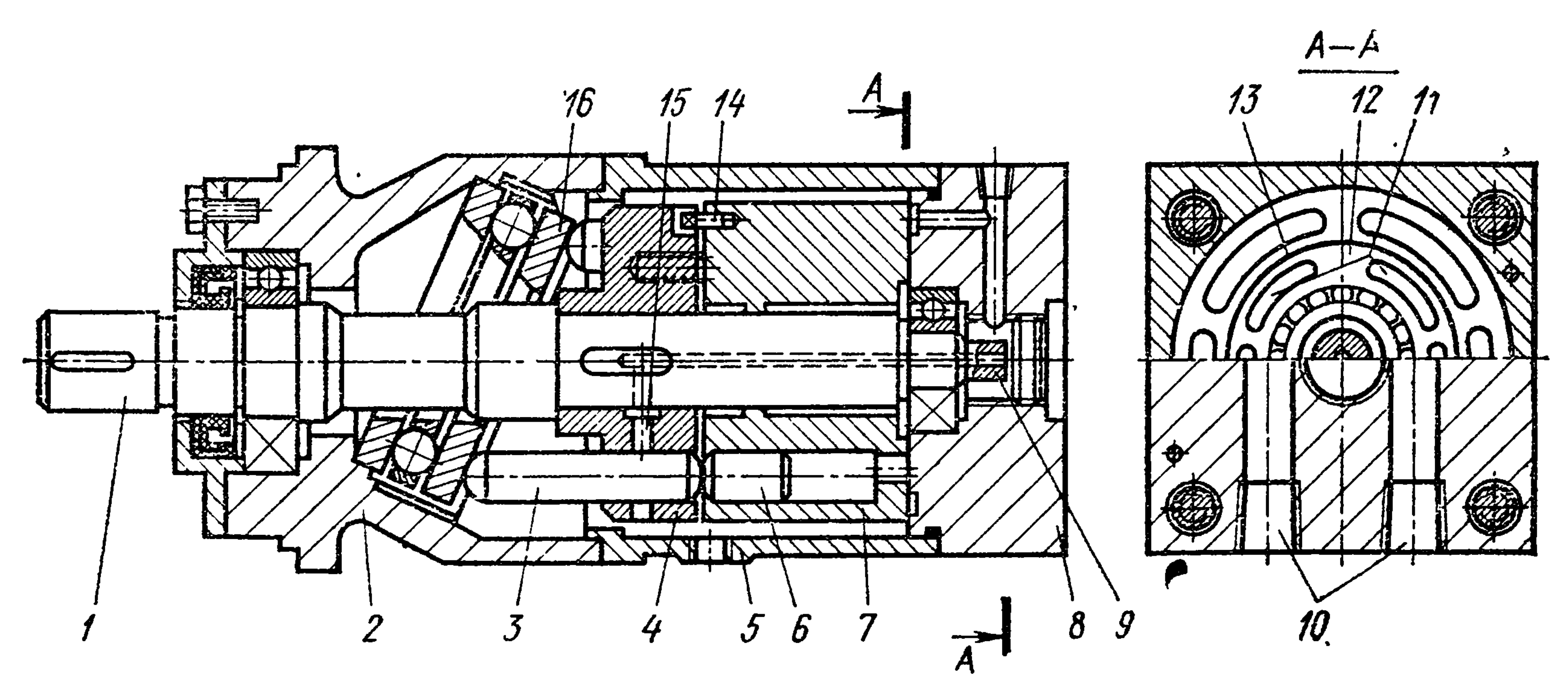


Рис. 32. Гидромотор Г15-2

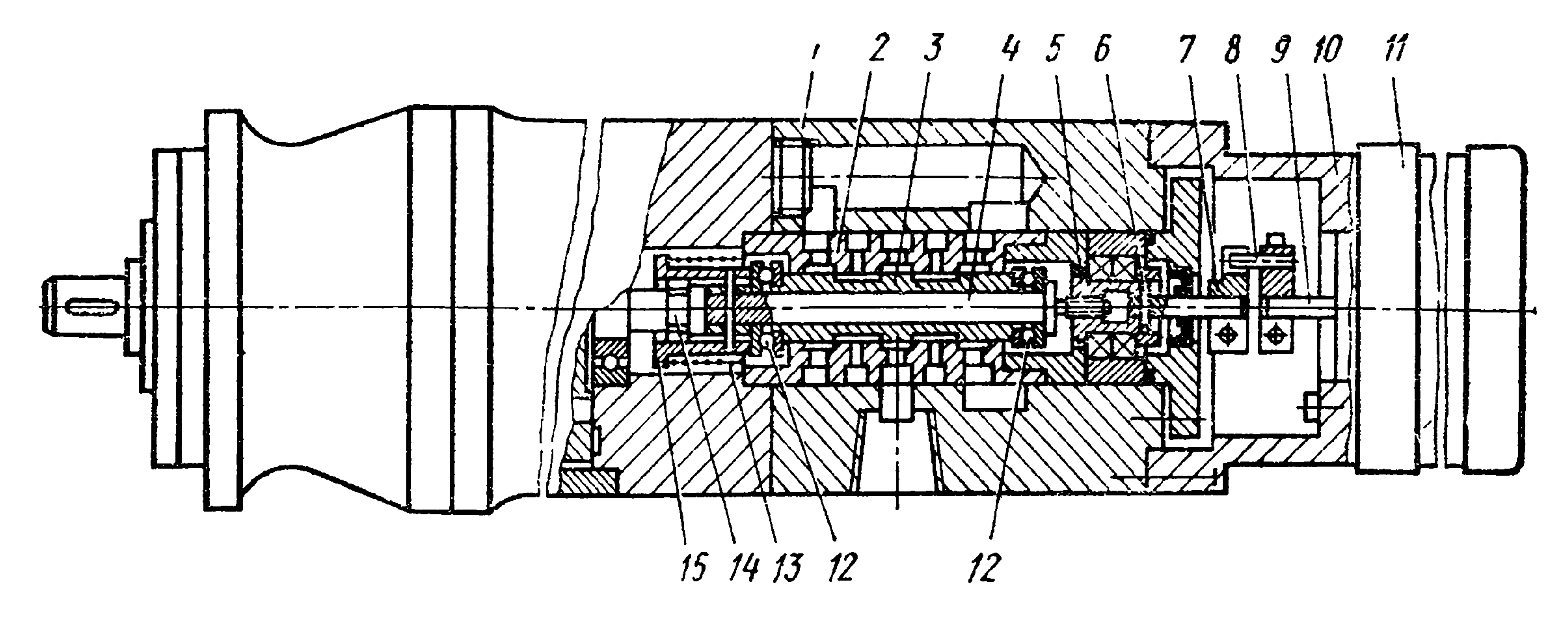


Рис. 33. Комплектный электрогидравлический шаговый привод Э32Г18-2

При работе гидромотора масло поступает через соответствующий паз *11* к окнам, имеющимся на торце ротора *7*, и действует на те поршни *6*, которые находятся против паза. Поршни прижимают толкатели *3* к пальцу *16* шарикоподшипника, а возникающие при этом тангенциальные силы вращают толкатели вместе с барабаном, ротором и валом. Скорость вращения гидромотора определяется расходом подводимого к нему масла. Реверсирование гидромотора производится за счет изменения направления потока масла, в этом случае происходит изменение назначений полостей гидромотора.

§ 7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ МОМЕНТОВ. КОМПЛЕКТНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ШАГОВЫЕ ПРИВОДЫ Э32Г18-2

Гидроусилители предназначены для осуществления синхронного вращения входного и выходного валов гидравлических приводов при многократном увеличении крутящего момента на выходе. Гидроусилитель состоит из гидромотора и следящего устройства. Гидромотор гидроусилителя описан в предыдущем параграфе. Следящее устройство гидроусилителя состоит из корпуса *1* (рис. 33), закрепленного на опорно-распределительной плите гидромотора, гильзы *2*, золотника *3*, входного валика *7*, резьбового валика *4* и резьбовой втулки *5*. Золотник *3* не может смещаться относительно резьбового валика в осевом направлении, но свободно поворачивается относительно него в упорных подшипниках *12*. Пружина *13* выбирает осевые зазоры в соединении золотника и резьбового валика.

На левом конце резьбового валика жестко закреплена шлицевая втулка *15*. Во внутренние шлицы втулки входит наконечник *14*, скрепленный с концом вала гидромотора. Когда золотник находится в среднем положении относительно гильзы, в обе полости гидромотора поступает одинаковое количество масла и вал гидромотора остается неподвижным. При повороте входного валика *7*, жестко связанного штифтом *6* с резьбовой втулкой *5*,

резьбовой валик *4* по резьбе втулки переместится вдоль оси вправо или влево в зависимости от направления вращения входного валика *7*. Вместе с резьбовым валиком в том же направлении переместится золотник *3*, который откроет доступ масла из напорной магистрали в одну из полостей гидромотора, и соединит другую полость со сливной магистралью. Вал гидромотора повернется в ту же сторону, в которую повернулся входной валик следящего устройства.

Резьбовой валик *4* через втулку *15* получит вращение от вала гидромотора и, ввертываясь во втулку *5* или вывертываясь из нее, переместит золотник в обратном направлении, пока тот не займет среднее положение относительно гильзы, при котором произойдет остановка вала гидромотора. Таким образом, входной вал следящего устройства повторяет все движения входного валика, осуществляя внутреннюю (местную) жесткую обратную связь.

В комплектных электрогидравлических шаговых приводах Э32Г18-2 входной валик *7* гидроусилителя получает вращение через поводковую муфту *8* от выходного валика *9* шагового двигателя *11* (ШД) типа ШД5Д1М.

К корпусу следящего устройства ШД прикреплен с помощью фланца *10*.

Работа электрогидравлического шагового привода происходит в соответствии с подачей к ШД электрических импульсов от устройства ЧПУ. Каждый импульс отрабатывается ШД поворотом на угол в 1,5°. Выходной вал гидроусилителя вращается в следящем режиме по отношению к валу ШД и с большим крутящим моментом, обеспеченным энергией подведенного к гидроусилителю масла. Суммарная величина угла поворота выходного вала гидро-

15. Характеристика электрогидравлического шагового привода Э32Г18-2

Основные данные	Типоразмеры			
	Э32Г18-22	Э32Г18-23	Э32Г18-24	Э32Г18-25
Номинальное рабочее давление, кПа	6200	6200	6200	6200
Номинальный крутящий момент, Н·м	11	22	46	92
Расход масла при наибольшей частоте вращения, л/мин	40	80	80	160
Наибольшее число импульсов, имп/с	8000	8000	4000	4000
Наибольшая частота вращения, об/мин	2000	2000	1000	1000
Наибольшая отдаваемая мощность, кВт	2,2	4,4	4,6	9,2
Статическая неточность при нагрузке 0,7 номинального момента, град	±1,2	±1,2	±1,2	±1,2

усилителя определяется числом поданных на ШД импульсов, а скорость — частотой их следования. До максимальной частоты 8000 Гц привод разгоняется за 0,4 с. Основные данные электрогидроприводов приведены в табл. 15.

§ 8. НАЛАДКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Наладка гидросистемы состоит из следующих этапов: проверка подготовленности к запуску; запуск гидросистемы; регулировочные работы.

На первом этапе проверяют подключение заземления гидростанции, уровень масла в баке и его качество (чистоту, эмульсирование, отсутствие пены и воды). При первоначальном пуске гидросистемы нужно произвести кратковременный запуск привода насоса подпитки, проверяя правильность направления его вращения. Производят несколько кратковременных включений гидростанции продолжительностью 2—3 с, во время которых проверяют правильность направления вращения основного насоса (по часовой стрелке со стороны вентилятора электродвигателя). Далее следует удалить из системы воздух, который мог накопиться в гидроагрегатах и трубопроводах. Для выпуска воздуха в некоторых системах предусматривается специальный кран на напорной магистрали, если такого крана нет, то следует слегка ослабить одно из соединений трубопроводов в напорной магистрали.

После запуска гидросистемы необходимо некоторое время для разогрева масла, до завершения разогрева запрещается производить включение механизмов станка. При регулировочных работах настраивают температурные реле и реле давлений. О величине давления в различных участках гидросистемы можно судить по показаниям манометра. Поворачивая кран в одно из возможных положений, можно подключить манометр к всасывающей и напорной магистралям, системе подпитки, различным цепям гидравлических устройств станка.

При техническом обслуживании гидросистем необходимо соблюдать следующие правила.

1. Регулярно проводить профилактические мероприятия, предписанные инструкцией по эксплуатации гидрооборудования.

2. Не ремонтировать узлы гидросистем в помещениях механических цехов.

3. Регулярно, не реже 1 раза в 12—15 месяцев, заменять рабочую жидкость; после слива масла промыть бак керосином.

4. Проверять чистоту фильтров.

5. Заливать рабочую жидкость с помощью заправочно-фильтрующей установки.

6. Закрывать смотровые, заливные крышки и пробки гидростанции.

7. Следить, чтобы температура рабочей жидкости не превышала 60 °С.

8. Следить, чтобы мощность, потребляемая электродвигателем регулируемого насоса без расхода масла в систему, не превышала 1,5 кВт.

При проведении работ по обслуживанию необходимо выключить приводные электродвигатели и разрядить пневматические аккумуляторы.

Ежедневно следует выполнять следующие работы.

1. Проверить уровень масла в баке, при необходимости долить.

2. Проверить, нет ли пены на поверхности рабочей жидкости. Определить по цвету жидкости, нет ли в ней воздуха и воды.

3. Устранить утечки в гидроузлах и соединениях.

4. Проверить по показаниям индикаторов степень загрязнения фильтров и при необходимости заменить фильтрующие элементы.

5. Проверить работу системы температурной стабилизации.

6. Проверить напряжение в сети питания электромагнитов устройств управления.

7. Проверить по манометру регулировку клапанов и подрегулировать давление в различных участках гидросистемы.

Раз в неделю следует выполнять следующие работы.

1. Устранить вновь обнаруженные утечки. Не затягивать чрезмерно соединения, если течь не прекращается; заменить вышедшие из строя прокладки, уплотнения, устранить перекосы и неплоскостность сопряженных поверхностей.

2. Проверить затяжку винтов, крепящих насосы, гидромоторы, цилиндры и аппаратуру.

3. Проверить состояние упругих муфт между электродвигателями и насосами.

Ежемесячно нужно брать пробы масла на разных уровнях бака для определения пригодности его для дальнейшей эксплуатации.

При изменении вязкости и плотности более чем на 20 % от номинальных значений масло следует заменить.

Ежегодно следует проверять рабочее состояние всех устройств гидросистемы. При этом проводят разборку, очистку и промывку основных агрегатов, замену или реставрацию изношенных элементов (подшипников, прокладок, уплотнений подвижных деталей). Баки гидростанций следует очистить, удалить все следы ржавчины, промыть и окрасить маслостойкой краской. На снятых трубопроводах отверстия рекомендуется закрывать пластмассовыми или металлическими пробками, нельзя применять для этой цели тряпки и дерево.

Характерные неисправности гидросистем станков приведены в табл. 16.

16. Характерные неисправности гидросистем станков и методы их устранения

Внешнее проявление неисправности	Причина	Методы устранения
Утечка масла по сопряженным плоскостям аппаратов	Недостаточная затяжка крепежных винтов	Подтянуть винты
	Вышли из строя уплотнительные кольца	Заменить кольца
Повышенный шум, вспенивается масло, колебания давления в системе	Недостаточный уровень масла в баке	Долить масло
	Подсос воздуха через всасывающий трубопровод насоса подпитки	Подтянуть соединение на всасывающем трубопроводе
	Загрязненность масла	Заменить масло
Стук при работе электродвигателей	Износ соединительных муфт	Заменить резиновые звездочки
Не включается электродвигатель регулируемого насоса	Чрезмерно затянут регулировочный винт реле давления	Ослабить регулировочный винт реле давления
	Вышел из строя насос подпитки	Отремонтировать или заменить насос подпитки
Перегревается масло	Засорился фильтр	Заменить фильтрующий элемент
	Недостаточен поток воздуха через радиатор	Убрать посторонние предметы от радиатора
	Повышенные внутренние утечки в гидросистеме	Отремонтировать или заменить неисправные узлы
Повышенный шум регулируемого насоса, давление в системе упало	Скол скругленных торцовых частей толкателей, задиры на опорной стороне наклонной шайбы регулируемого насоса	Заменить вышедшие из строя толкатели, прошлифовать и притереть опорную плоскость наклонной шайбы

§ 9. ПНЕВМАТИКА В СТАНКАХ С ЧПУ

Сжатый воздух используют в станках для осуществления привода исполнительных механизмов, подачи смазки, контроля плотности сочленения поверхностей, обдува для очистки концов оправок и базовых поверхностей шпинделей, подачи в зону резания распыленных охлаждающих жидкостей, считывания информации с перфолент, а также в устройствах пневмоавтоматики. Такое широкое применение можно объяснить следующими положительными свойствами пневматики: быстродействием пневматических исполнительных механизмов; возможностью осуществления сравнительно простыми средствами сложных автоматических циклов; большим сроком службы элементов пневмоавтоматики; пожаро- и взрывобезопасностью; надежностью работы в широком диапазоне температур; возможностью питания большого числа потребителей от единой компрессорной установки; относительной легкостью транспортировки энергии по трубопроводам; возможностью выпуска отработанного воздуха в атмосферу непосредственно

или через глушитель без опасности загрязнения окружающей среды; отсутствием необходимости в сложных защитных устройствах от перегрузки; относительной простотой конструкции и эксплуатации.

Некоторым ограничением для применения пневмопривода является малая величина используемого в промышленности рабочего давления (до 600 кПа). Для получения больших усилий необходимо применять цилиндры больших диаметров (300—500 мм).

Известными недостатками пневмопривода является также необходимость достаточно тщательной очистки сжатого воздуха от влаги и механических примесей, менее надежная по сравнению с гидроприводом смазка рабочих элементов и необходимость защиты их от коррозии.

§ 10. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПНЕВМОСИСТЕМ

Пневмоаппаратура рассчитана на работу со сжатым воздухом, не содержащим кислот, при температуре от 5 до 50 °С. Для подготовки воздуха его пропускают через фильтр-влагоотделитель, регулятор давления и маслораспылитель.

Фильтр-влагоотделитель (рис. 34) предназначен для отделения твердых частиц размером от 0,05 мм и более, воды и компрессорного масла, находящихся в сжатом воздухе. Влагоотделитель устанавливают первым в пневмосистеме.

Воздух, подведенный к входному отверстию корпуса *1*, проходит в стакан *2* через щели крыльчатки *7*, которая сообщает воздуху движение по винтовой линии. Мелкие частицы и влага под действием центробежных сил отбрасываются на стенки стакана *2* и затем опускаются вниз в сборник, отделенный от остальной части заслонкой *4*. Очищенный воздух проходит через металлокерамический фильтр *3*, освобождается окончательно от механических примесей и поступает к выходному отверстию.

Для удаления накопившегося конденсата необходимо открыть кран *5*. Через запорный клапан *6* сжатый воздух выбросит из аппарата воду и механические примеси. Благодаря тому, что стакан *2* прозрачный, можно следить за количеством конденсата и своевременно производить его отвод (уровень конденсата не должен подниматься выше заслонки). Существуют и другие конструкции фильтров, в которых операция удаления из сборника влаги осуществляется автоматически с помощью поплавка, открывающего клапан по мере накопления воды.

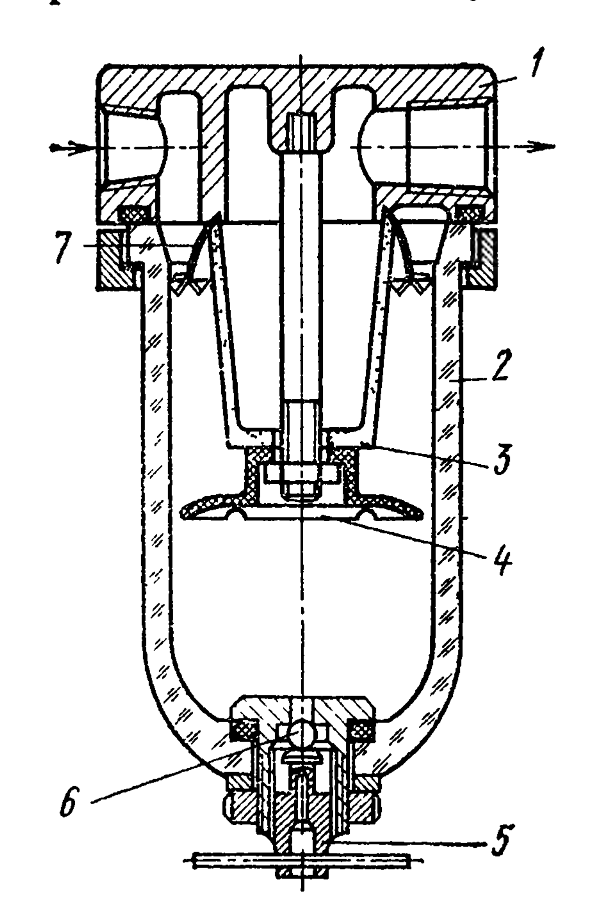


Рис. 34. Фильтр-влагоотделитель В41-1

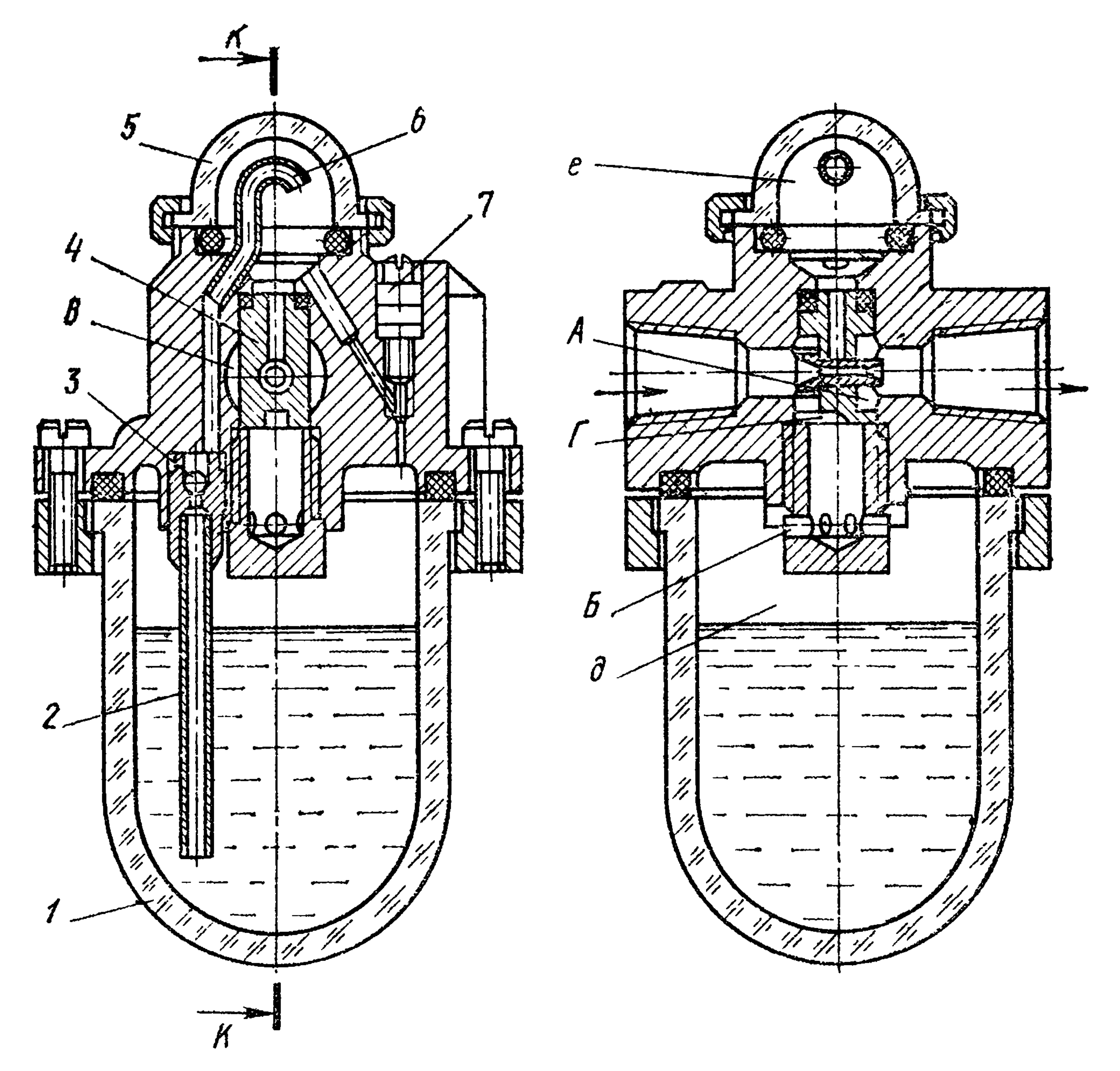


Рис. 35. Маслораспылитель В44-13

Если требуется более тщательная очистка воздуха от влаги, после фильтра-влагоотделителя необходимо установить осушитель, в котором оставшаяся влага адсорбируется окисью алюминия или силикагелем.

Маслораспылитель (рис. 35) насыщает сжатый воздух масляным туманом. Его работа напоминает работу пульверизатора. Основной поток воздуха от входного отверстия направляется через щели *В* и частично через сопло распыляющего устройства к выходному отверстию, а часть потока проходит через каналы *Г* и *Б* во внутреннюю полость *д* аппарата. Через сопло воздух проходит с большой скоростью, вызывая на выходе из сопла в полости *А* местное понижение давления.

Когда дроссель *7* полностью открыт, давление воздуха в полостях *д* и *е* одинаково, и масло на распыление не поступает. При закрывании дросселя уменьшается сечение дросселирующего отверстия, вследствие чего давление воздуха в полости *е* становится меньшим, чем в полости *д*. Масло поднимается по трубке *2*, отжимает шарик *3* от седла втулки и попадает в трубочку *6*. По мере накопления масла в трубочке, оно каплями поступает в центральный вертикальный канал малого диаметра распыляющего устройства *4* и распыляется в сопле потоком сжатого воздуха. При полностью закрытом дросселе *7* разность давления между полостями *д* и *е* будет наибольшей, следовательно, и расход масла также будет наибольшим.

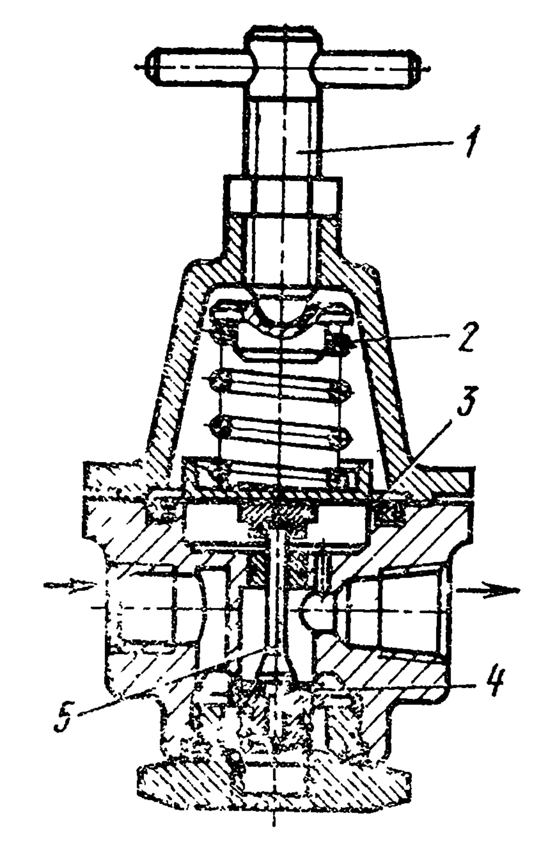


Рис. 36. Регулятор давления В57-1

Попадая в основной поток воздуха, масло подвергается вторичному распылению, и в пневмосистему поступают мельчайшие его частицы. Стакан *1* заполняют маслом И-20А или Т22 до уровня, обозначенного на стакане риской. Заливку масла необходимо производить, предварительно перекрыв подачу воздуха в маслораспылитель. Степень насыщения воздуха маслом регулируется дросселем *7* и контролируется визуально через прозрачный колпачок *5* по интенсивности каплепадения из трубочки *6*. Нельзя допускать при работе перевертывания фильтра—влагоотделителя и маслораспылителя.

С помощью регулятора давления (редукционного пневмоклапана) (рис. 36) поддерживается требуемое давление в пневматической системе. Регулятор настраивают винтом *1*, действующим через пружину *2* и толкатель *5* на дроссельный клапан *4*. Выходное давление, действующее на мембрану *3* снизу, уравновешивается усилием пружины *2*.

17. Характерные неисправности пневмоаппаратуры и методы их устранения

Внешнее проявление неисправности	Причина	Методы устранения
После замены аппарат (фильтр-влагоотделитель, регулятор давления) не работает	Направление движения сжатого воздуха не совпадает со стрелкой на корпусе	Переставить аппарат
Утечки воздуха в соединениях аппаратов с трубопроводами или стыках	Негерметичность соединений и уплотнений	Подтянуть соединения, при отрицательных результатах заменить соединения и уплотнения
Регулятор давления не обеспечивает нормального давления и его стабильности	Нарушилась целостность мембраны или резинового вкладыша клапана	Заменить мембрану. Заменить вкладыш клапана
	Токатель не имеет свободного хода	Восстановить свободный ход толкателя
Фильтр-влагоотделитель плохо пропускает воздух	Засорился керамический фильтр	Промыть фильтр уайт-спиритом и продуть воздухом
Штоки пневмоцилиндров перемещаются неравномерно	Задиры на поверхности штока	Отшлифовать шток, заменить элементы уплотнения

При понижении выходного давления указанное равновесие нарушается. Мембрана *3* прогибается вниз и через толкатель *5* отжимает дроссельный клапан *4*, увеличивая проход воздуха и тем самым расход его и давление. При повышении давления на выходе пружина *2* сжимается, дроссельный клапан *4* прикрывается, что приводит к уменьшению расхода и давления сжатого воздуха.

Характерные неисправности пневмоаппаратуры приведены в табл. 17.

Раздел 2

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И РАСЧЕТ МЕХАНИЗМОВ СТАНКОВ С ЧПУ

Глава VI

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

§ 1. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НА СОКРАЩЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

При проектировании станков с ЧПУ конструкторы решают задачи достижения максимальной производительности, высокой точности и высокой надежности. Наибольшее влияние на особенности конструктивного исполнения станков оказывают те решения, которые направлены на повышение производительности за счет сокращения всех составляющих затрат рабочего времени: вспомогательного, основного, подготовительно-заключительного и времени обслуживания рабочего места.

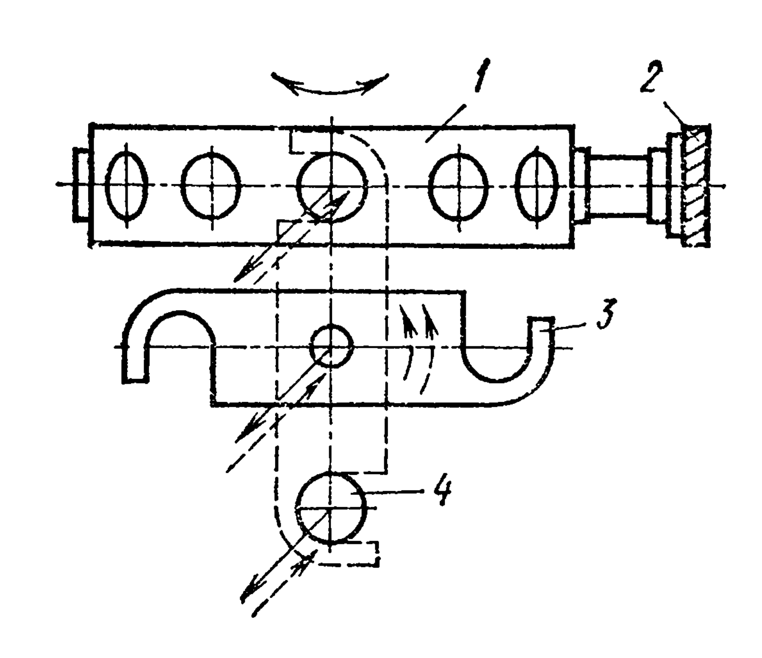
Вспомогательное время при работе на станке с ЧПУ разделяется на время действий, выполняемых оператором (установка, закрепление заготовок и снятие обработанных деталей, пуск цикла, проверка размеров) и время холостых действий, выполняемых станком (взаимные подводы и отводы инструментов и заготовки, смена инструментов).

Сокращение времени, которое затрачивается на установку, закрепление заготовки, снятие обработанной детали, может быть достигнуто тремя способами: использованием быстродействующей оснастки; созданием удобных условий загрузки станка: совмещением времени обработки со временем загрузки-разгрузки.

Первый способ распространен при обработке на токарных станках, на которых используют быстродействующие зажимные патроны, поводковые инерционные патроны и поводковые патроны с торцовыми ножами в комплекте с плавающими центрами. Среди различных факторов, определяющих компоновку станка, немаловажен фактор удобства загрузки деталей (второй способ). Из всех возможных конструктивных оформлений токарных станков предпочтение отдается тем, у которых ось шпинделя (ось центров) приближена к рабочему месту. Такое расположение шпиндельной оси имеют токарные станки с горизонтальной осью шпинделя и так называемой вертикальной или наклонной станиной, а также станки патронного типа.

При обработке на станках сверлильно-фрезерно-расточной группы применяют третий способ, при котором во время обработки одной заготовки другую заготовку оператор устанавливает, при необходимости выверяет и закрепляет вне рабочей зоны на

Рис. 37. Смена инструмента с помощью двухзахватной руки (пунктиром показана рука в позиции смены)



дополнительном рабочем столе или в приспособлении-спутнике. Конструктивно третий способ оформляется в виде нескольких рабочих столов, попеременно смещаемых в рабочую позицию.

В конструкции некоторых станков по обе стороны от рабочего стола размещены две подставки под сменные столы-спутники. Тем самым у станка образуются три позиции (рабочая и две загрузочные), в которых размещены два рабочих стола-спутника. Во время обработки заготовки в рабочей позиции в первой загрузочной позиции на столе-спутнике можно производить смену заготовки. После завершения обработки стол-спутник из рабочей позиции уходит в свободную загрузочную позицию, а настроенный стол-спутник из первой загрузочной позиции смещается в рабочую. Смена столов-спутников механизирована и выполняется по командам управляющей программы. В загрузочных позициях один из столов-спутников оказывается попеременно то слева, то справа от рабочей позиции, в которую смещается другой стол-спутник. Такой способ смены столов называют «челночным». На нижней стороне столы-спутники имеют направляющие, на верхней — поверхности для базирования и закрепления зажимных приспособлений.

Сокращение времени холостых действий явилось следствием решения многих сложных конструктивных задач. В современных станках скорость перемещений рабочих органов доведена до 10—12 м/мин. Одновременно в приводах подач расширен диапазон регулирования, возросла способность работать с перегрузками, сокращено время разгона и торможения.

Успешно решают задачу довести время смены инструментов до 2—5 с. Для револьверных головок этого достигают за счет быстродействия привода поворота, выбора направления движения по кратчайшему пути, сокращения до минимума времени элементарных действий (расфиксации, поворота, фиксации). Для магазинов инструментов, наряду с быстродействием устройств, осуществляющих смену инструментов, эффективна заблаговременная подготовка к осуществлению смены с помощью промежуточных транспортных автооператоров и двухзахватной автоматической руки (манипулятора).

Простейшая схема действия смены инструментов изображена на рис. 37.При подаче команды на смену инструмента магазин *1* начинает вращаться. Поиск нужного инструмента, например *2*, заканчивается остановом магазина в положении смены этого ин-

струмента. Поворачивается двухзахватная механическая рука *3* для одновременного захвата сменяемого инструмента *4*, закрепленного в шпинделе и инструмента, находящегося в магазине. Перемещаясь вдоль осей инструментов, рука извлекает их из шпинделя и из гнезда магазина. Далее рука, поворачиваясь, меняет местами инструменты и продольным движением возвращает их в магазин. После закрепления нового инструмента в шпинделе механическая рука поворачивается в исходное положение.

В некоторых станках рука посылает инструмент не в гнездо магазина, а в ячейку промежуточного перегружателя, который транспортирует инструмент от магазина до позиции смены и обратно. У большинства многооперационных станков магазины расположены в достаточном удалении от зоны резания. Это делается для сохранения рабочих присоединительных поверхностей инструментов от пыли, влаги и стружки. Магазин должен быть расположен в месте, удобном для обслуживания. В процессе обработки необходимо осматривать инструменты, заменять изношенные, поднастраивать на размер и даже пополнять магазин инструментом, если емкость магазина недостаточна для выполнения всей запрограммированной операции.

§ 2. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НА СОКРАЩЕНИЕ ОСНОВНОГО ВРЕМЕНИ

Основное (машинное) время может быть сокращено, если на станке выполняют резание высокими и оптимальными режимами (скоростью резания, глубиной и подачей). Станок для реализации такого резания должен иметь высокие силовые и скоростные характеристики привода главного движения; высокие жесткость и виброустойчивость; способность изменять по программе в широких пределах, лучше всего бесступенчато, скорость шпинделя и подачу.

Следующая возможность повышения производительности при переводе обработки на станки с ЧПУ связана с возможностью достижения высокой точности обработки. На станках с ЧПУ можно выполнять финишные операции, которые ранее осуществлялись менее производительными методами шлифования. Таким образом, мы приходим к выводу, что высокая производительность станка с ЧПУ будет обеспечена, если он соединит в себе обычно малосовместимые качества: «силу» и точность.

В сравнении со станками с ручным управлением мощность привода главного движения станков с ЧПУ возросла в 2—3 раза. Это дает возможность вести обработку как при больших глубинах, так и при скоростях резания до 400—600 м/мин.

Бесступенчатое регулирование скорости перемещения рабочих органов необходимо для работы с оптимальными подачами, а также для предотвращения поломок (выкрашивания) режущих кромок инструментов в момент встреч с металлом. Врезание в металл необходимо производить на «щадящих» подачах, заниженных от

нормативных на 20—30 %, а после врезания надо постепенно разгонять инструмент до подач, на 30—40 % превосходящих нормативные. Исследования, выполненные в ЭНИМСе, показали, что таким образом можно повысить производительность токарной обработки деталей типа тел вращения на 12—25 % при сокращении расхода режущих инструментов.

Точность станков повышают в результате специальных конструктивных решений и более точного исполнения механической части станка. В наивысшей степени достижению точности отработки станком геометрической части управляющей программы и сохранению точности станка во времени способствует оснащение станков устройствами обратной связи.

Датчик обратной связи можно устанавливать в различных местах кинематической цепи привода подач (рис. 38). Наиболее простое конструктивное решение — датчик обратной связи и датчик скорости (техогенератор) установлены на роторе двигателя подач и его сигналы пропорциональны углу поворота ротора (рис. 38, *а*). На рис. 38, *б* датчик обратной связи установлен в кинематической цепи на противоположном от двигателя конце ходового винта, а на рис. 38, *в* датчик положения связан не с ходовым винтом, а с рабочим органом.

Все три варианта установки датчика обратной связи не равноценны с точки зрения достижения точности. В варианте, приведенном на рис. 38, *а*, ошибки перемещения рабочего органа включают в себя погрешности кинематической цепи от двигателя до рабочего органа. В варианте, приведенном на рис. 38, *б*, по сравнению с вариантом на рис. 38, *а* исключены погрешности редуктора между двигателем и ходовым винтом, а также погрешности от скручивания ходового винта. Наиболее высокая точность достигается в варианте, приведенном на рис. 38, *в*, когда датчик обратной связи контролирует положение или отсчитывает перемещение рабочего органа и установлен непосредственно на рабочем органе. При такой схеме точность перемещения не зависит

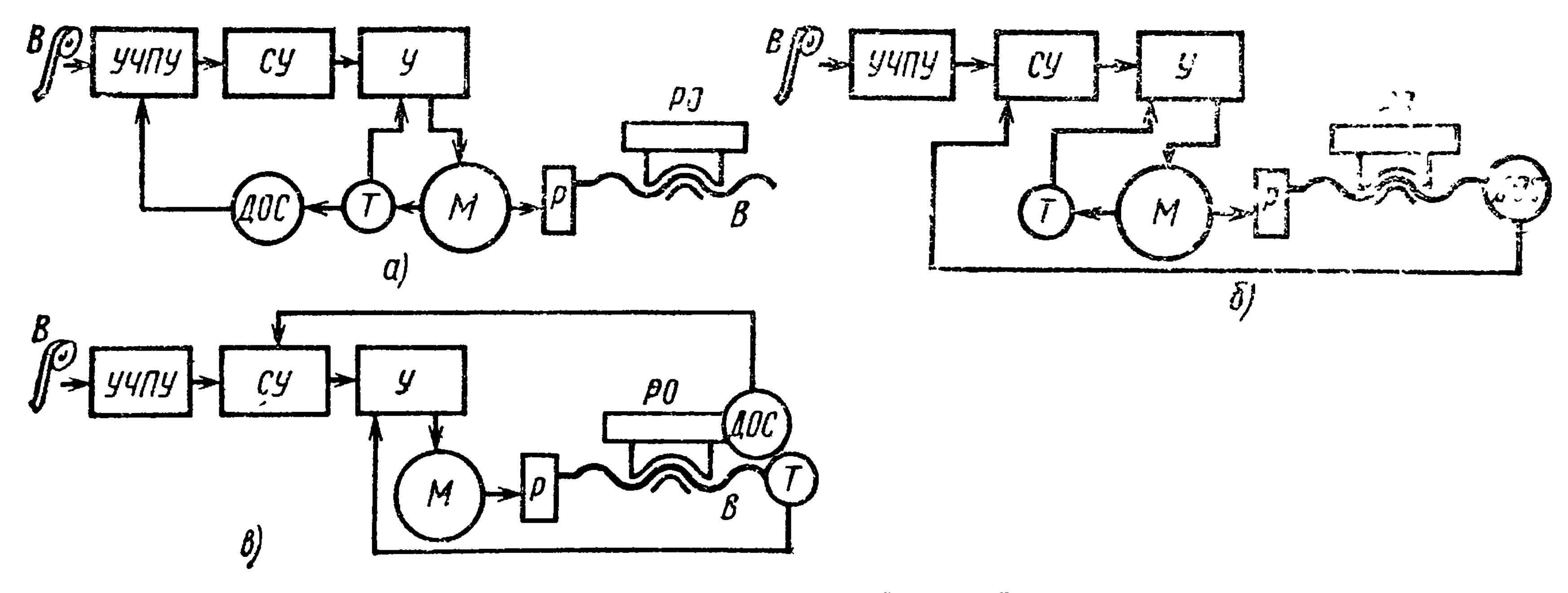


Рис. 38. Варианты расположения датчика обратной связи:

В — устройство ввода; *УЧПУ* — устройство ЧПУ; *СУ* — сравнивающее устройство; *У* — усилитель; *РО* — рабочий исполнительный орган; *ДОС* — датчик обратной связи; *Т* — тахогенератор; *М* — двигатель; *Р* — редуктор; *В* — в ходовой винт

от точности кинематической цепи привода подач, а определяется точностью датчика обратной связи. Однако все три варианта почти равноценны с точки зрения стабильности отсчета величин перемещений или положений при многократном повторении управляющей программы, а именно стабильность является одним из главных условий выполнения на станке точной обработки.

Если по каким-то случайным причинам в замкнутых системах один из размеров будет выполнен с погрешностью, то это не скажется на точности остальных размеров данной детали, а тем более на точности остальных деталей партии.

В разомкнутых системах контроль перемещения исполнительных устройств отсутствует. Если устройство ЧПУ выдало некоторое число импульсов на приводы подач, а механическая часть станка (например, по причине заклинивания) отработала не все число импульсов, то ошибочное исполнение размеров распространится не только на данную обрабатываемую поверхность, но и на другие поверхности данной детали. Рабочие органы не вернуться в ноль программы, что вызовет при непринятии мер возникновение определенной погрешности у последующих деталей партии. Именно повышение надежности достижения и поддержания точности обработки является бесспорным преимуществом замкнутых систем в сравнении с разомкнутыми.

Ряд характерных черт в конструкции узлов станков (повышенная жесткость, отсутствие зазоров в кинематических цепях, трогание рабочих органов с места без скачков и равномерность медленных перемещений) достигается благодаря особому исполнению шпиндельных узлов, направляющих исполнительных устройств, приводов подач, соединительных муфт. Широко применяют такие механизмы, как винтовые передачи качения, передачи червяк—рейка качения, роликовые направляющие с циркуляцией тел качения, муфты с плоскими зубчатыми венцами и др.

§ 3. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НА СОКРАЩЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНО-ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Подготовительно-заключительное время определяет затраты времени на работы, предшествующие обработке партии заготовок: ознакомление с технической документацией, подготовку рабочего места, настройку станка для выполнения обработки и сдачу готовых деталей отделу технического контроля.

Сокращение подготовительно-заключительного времени достигается как в результате улучшения организации производства, так и путем оснащения станков устройствами редактирования управляющих программ, использования групповых и универсальных приспособлений для крепления заготовок, универсальных комплектов режущих и вспомогательных инструментов, не требующих перенастройки при переходе на новую деталь. Немаловажно для сокращения времени настройки наличие устройств

смещения рабочих органов, плавающего нуля и пересчета начала координат.

Многоинструментальность станков и возможность выполнять максимальные объемы обработки за один установ заготовки позволяют уменьшить число операций технологического процесса и тем самым уменьшить затраты подготовительно-заключительного времени, связанного с настройкой оборудования на выполнение отдельных операций. Многоинструментность обеспечивается не только револьверными инструментальными головками и магазинами инструментов с автоматизированной сменой, но и при ручной смене за счет механизмов быстрого закрепления инструментов.

§ 4. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НА СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ

Конструкция и компоновка станка влияют на время обслуживания рабочих мест — составляющую часть штучного времени. Например, облегченные отвод и удаление стружки из зоны резания выступают в качестве важнейших аргументов при выборе расположения направляющих токарных станков. Вертикально и наклонно расположенные направляющие при горизонтальном шпинделе облегчают сход стружки, а размещение суппорта сверху и сзади от рабочей зоны облегчает встройку транспортеров удаления стружки. Некоторые фрезерные и расточные станки снабжены лотками с виброприводом, облегчающим удаление стружки в стружкосборники. Транспортеры удаления стружки чаще всего выполняют ленточными, гибкую ленту собирают из отдельных металлических шарнирно соединенных звеньев.

Станки с ЧПУ снабжают совершенными устройствами ограждения, назначение которых не только оградить рабочую зону из соображений безопасности, но и предотвратить разброс стружки и разбрызгивание охлаждающей жидкости. Ограждение способствует сокращению затрат времени на уборку станка и рабочего места после окончания смены. На большинстве тяжелых расточных станков направляющие надежно защищены телескопическими щитками, которые, в свою очередь, легко очищать от загрязнения.

§ 5. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

С проблемами повышения производительности и точности обработки связано оснащение станков самоприспособляющимися устройствами ЧПУ (адаптивными системами, системами автоматического регулирования), которые изменяют режимы обработки (глубину резания, подачу, скорость) в зависимости от конкретных условий, в которых происходит процесс резания. Наибольший интерес с точки зрения перспективности представляют системы управления, в которых осуществляется оптимизация процесса

обработки по критерию наиболее высокой производительности. Как один из путей повышения точности обработки необходимо отметить создание систем контроля положения режущей кромки инструмента и автоматической коррекции погрешностей. Многое делается для рационализации управляющих программ и программирования. Устройства ЧПУ все в большей степени оснащают постоянными стандартными циклами, с помощью которых можно одним кадром задать комбинацию типовых приемов и движений.

Увеличение объема памяти устройства ЧПУ сверх рабочей и промежуточной позволяет запоминать на длительный период времени управляющую программу или даже несколько программ. В этом случае информация с перфоленты считывается устройством ввода только один раз, дальнейшая работа идет «из памяти». При этом повышается надежность работы станков, так как в настоящее время примерно половина задержек в работе и отказов устройств ЧПУ связаны с повреждениями перфоленты и нечеткой работой считывателей информации. Редактирование управляющих программ на рабочем месте возможно только при наличии в устройстве дополнительной памяти.

Развитие устройств ЧПУ идет по пути придания им более широких функций. В таких устройствах, содержащих микро-ЭВМ со свободным программированием, обеспечивается возможность сокращения основного времени благодаря оптимизации программы и реализации алгоритма адаптивного управления. Кроме того, устройства ЧПУ, выполненные на базе микро-ЭВМ, имеют возможность автоматического контроля всех систем станков с помощью диагностических программ; компенсации систематических погрешностей приводов подач; уменьшения в конструкции числа элементов, восприимчивых к помехам.

Совершенствование конструкции и возможностей станков расширяет область их эффективного использования на все виды производства (единичное, серийное, массовое).

Для станков единичного производства создают специальные устройства с ручным (оперативным) программным управлением. В этом случае управление станком может осуществляться без заранее подготовленного программоносителя с помощью органов управления: кнопок, клавиш, переключателей числового набора программы на пульте, переключателей и кнопок стандартных циклов, маховиков дистанционного перемещения тяжелых органов. Значительная по объему память устройства позволяет запомнить и затем воспроизвести операцию обработки, которую перед этим на первой детали оператор выполнил, пользуясь ручным управлением. На станках с оперативным управлением должны работать квалифицированные операторы (наладчики). Используя опыт, знания и навыки работы на соответствующих универсальных станках, они могут выполнять обработку даже первой детали с большой эффективностью, т. е. достигать требуемого качества при высоком уровне производительности.

В крупносерийном производстве станки компонуют в автоматические участки и линии, объединяя их транспортно-складскими системами. Многооперационные станки оснащают многошпиндельными головками, сменяемыми из магазинов. Станки токарной группы делают многосуппортными с независимой и одновременной работой суппортов и многошпиндельными для обработки нескольких деталей как по одинаковым, так и по разным программам.

Накапливается опыт эксплуатации комплексов станки—промышленные роботы без участия операторов, когда наладчики в первую смену настраивают оборудование, а в течение второй и третьей смены оно работает самостоятельно в автоматическом режиме. Это осуществимо, если на станках решены задачи надежного удаления стружки из зоны резания, автоматической замены из резерва отработавших ресурс или преждевременно вышедших из строя режущих инструментов. Кроме того, станки должны реагировать на перегрузки и выход размеров обрабатываемой детали за пределы поля допуска, следить за правильностью установки роботом заготовки в крепежном приспособлении и автоматически восстанавливать допустимые условия и режимы работы.

Глава VII

МЕХАНИЗМЫ СТАНКОВ С ЧПУ

§ 1. ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Станки с ЧПУ имеют в основном два типа приводов главного движения: одно- или многоскоростной асинхронный нерегулируемый двигатель — автоматическая коробка скоростей (АКС) — шпиндельная бабка с зубчатым перебором для расширения диапазона изменения частот вращения шпинделя; электродвигатель постоянного тока с тиристорным управлением — шпиндельная бабка с перебором.

Привод с асинхронным двигателем и АКС при ограниченном числе ступеней частот вращения имеет постоянную мощность во всем диапазоне регулирования, высокую жесткость механической характеристики, высокий КПД, сравнительно низкую стоимость. Этот тип привода широко применяют на многих токарных станках с ЧПУ.

В АКС зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении. Ступенчатое переключение частот вращения шпинделя достигается за счет соответствующих включений фрикционных многодисковых электромагнитных муфт. Выпускаются 9-, 12- и 18-ступенчатые АКС семи габаритов, рассчитанные на мощности от 1,5 до 55 кВт.

На рис. 39, *а* приведена кинематическая схема четырехмуфтовой системы (элемента АКС), а на рис. 39, *б* — график частот

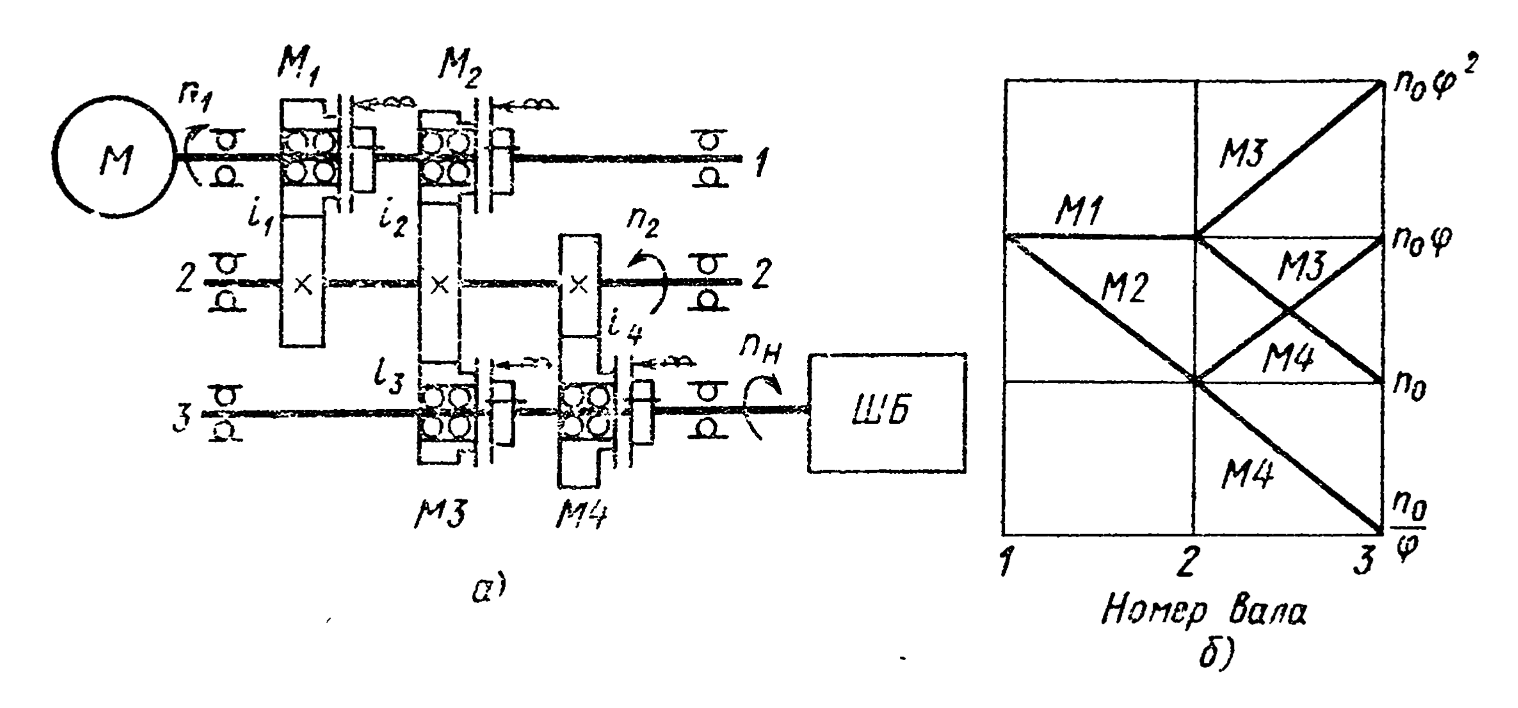


Рис. 39. Кинематическая схема четырехмуфтовой АКС (*а*) и график скоростей (*б*): *М* — двигатель; *ШБ* — шпиндельная бабка

вращения этой системы. Передаточные отношения ступеней коробки $i_1 = 1$; $i_3 = \varphi$; $i_2 = i_4 = 1/\varphi$. Если включены муфты *М1* и *М4*, то на выходе имеем частоту вращения n_0. Изменение скоростей осуществляется за счет особой последовательности переключения пар электромагнитных муфт *М1*—*М4*. Отключаются муфты одной ступени и включаются муфты, замыкающие кинематическую цепь другой ступени. Переключение может производиться под нагрузкой в процессе резания, так что особой задачей является сохранение скорости вращения выходного вала в момент протекания переходных процессов. Для устранения неблагоприятных явлений при разгонах и торможениях маховых масс элементов привода в схеме управления предусматривается неодновременная подача сигналов на включение и отключение муфт. Муфты выходного звена переключают несколько раньше, чем муфты входного.

В практике используют три схемы соединения электродвигателя, АКС и шпиндельной бабки (рис. 40). Поскольку при пусках,

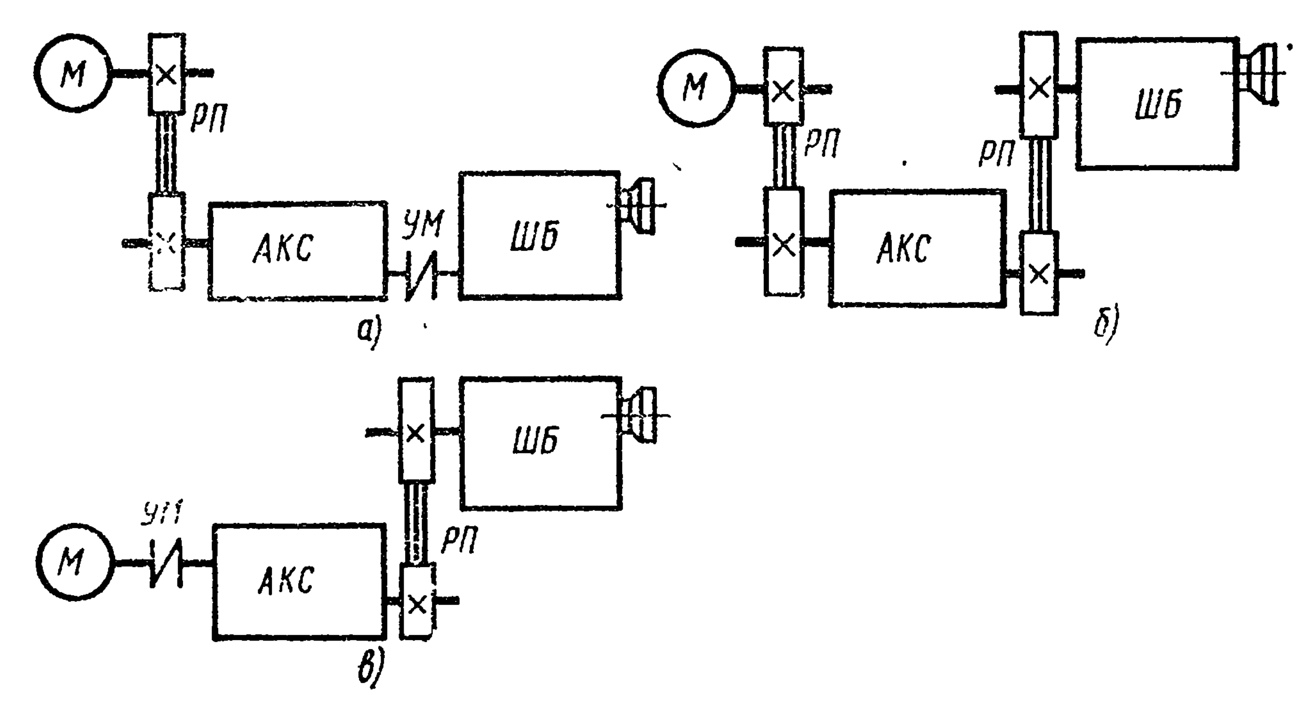


Рис. 40. Главный привод с АКС:

а — ременная передача на входе АКС; *б* — ременные передачи на входе и на выходе АКС; *в* — ременная передача на выходе АКС; *М* — электродвигатель; *РП* — ременная передача; *АКС* — автоматическая коробка скоростей; *УМ* — упругая муфта; *ШБ* — шпиндельная бабка

торможениях, изменениях скоростей, прерывистом точении возникают нагрузки колебательного характера, эти схемы не являются равноценными с точки зрения динамических характеристик привода. На основе выполненного в ЭНИМСе анализа рекомендовано применение ременной передачи между АКС и шпиндельной бабкой и фланцевое соединение двигателя с входным валом АКС (рис. 40, *в*).

Двигатели постоянного тока с тиристорными приводами для главного движения в полной мере отвечают требованиям станков с ЧПУ. Они имеют широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости, который можно разделить на две зоны. В первой зоне, ниже номинальной скорости, регулирование осуществляется путем изменения напряжения на якоре, в этой зоне сохраняется постоянный момент при любой частоте вращения, а не постоянная мощность, что необходимо для привода главного движения. Регулирование при постоянной мощности осуществляется во второй зоне, выше номинальной скорости, путем ослабления магнитного поля возбуждения. Время переходного процесса при пуске, реверсе, торможении и изменении скоростей мало. Тиристорный привод позволяет осуществить резание с оптимальной скоростью путем регулирования частоты вращения шпинделя при изменении диаметра обработки.

Отечественной промышленностью освоено производство тиристорных электроприводов постоянного тока серии ЭТ3 для работы с двигателями серии ПБСТ и 2П, представляющих собой систему автоматического регулирования частоты вращения двигателя с отрицательной обратной связью по частоте вращения и по току якоря двигателя. Электроприводы рассчитаны на работу в продолжительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах.

§ 2. ДВИГАТЕЛИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ

Наряду с электрогидравлическими шаговыми приводами (см. гл. V, § 7) широко применяют в приводах подач три вида следящих электрических двигателей постоянного тока: с пазовым якорем (обмотка заложена в пазы) и электромагнитным возбуждением; малоинерционные с гладким или дисковым печатным якорем; высокомоментные с возбуждением от постоянных магнитов.

Важное положительное свойство привода — быстродействие — определяется отношением крутящего момента к моменту инерции, следовательно, быстродействие привода можно повысить или снижением его момента инерции или увеличением максимального крутящего момента двигателя в динамических режимах.

Широко распространены двигатели первого вида, к ним относятся высокооборотные и низкооборотные двигатели серии П, МИ, ПЛ, ЭП, ПБСТ, ПСТ, 2П и др. Высокооборотные двигатели устанавливают с шестеренчатым редуктором, что позволяет зна-

чительно уменьшить нагрузочный момент на валу двигателя, а следовательно, и его габаритные размеры. Низкооборотные двигатели этого типа могут стыковаться непосредственно с ходовым винтом станка, обеспечивать большое быстродействие, однако при равной номинальной мощности имеют бóльшие размеры и массу, чем высокооборотные.

Малоинерционные двигатели второго вида выполняют высокооборотными. В переходных режимах они развивают большие ускорения до 20 000—50 000 рад/$с^2$, что приводит к большим динамическим нагрузкам в цепи от двигателя к ходовому винту. По этой причине недопустимы зазоры в зубчатых передачах и в подшипниках редукторов, особые требования предъявляются к жесткости всей цепи. В отечественных станках применяют малоинерционные двигатели с гладким якорем серии ПГТ и с дисковым печатным якорем.

Двигатели третьего вида — высокомоментные. Основным их отличием от обычных двигателей постоянного тока является замена электромагнитного возбуждения на возбуждение от постоянных магнитов. В результате такой замены существенно улучшились характеристики двигателя и привода. Высокое быстродействие обеспечивается способностью кратковременно развивать большой крутящий момент. В результате отсутствия обмотки возбуждения, а следовательно, и ее нагрева, появилась возможность увеличить ток якоря, что привело к росту крутящего момента при одинаковых с обычным двигателем габаритных размерах. Увеличению тока якоря способствует также выполнение обмотки якоря из материала с высокой теплостойкостью изоляции. В результате использования постоянных магнитов высота полюсов уменьшилась в 2—3 раза, и диаметр двигателя в 1,2—1,3 раза. Применение высококоэрцитивных магнитов, не размагничивающихся при любом токе якоря, дало возможность получить 10—20-кратный момент двигателя на малых частотах вращения, тем самым обеспечить высокое быстродействие привода, несмотря на достаточно большой момент инерции двигателя. Высокомоментные двигатели связывают непосредственно с ходовым винтом привода без использования редуктора. В табл. 18 приведены основные данные двигателей приводов подач вышеуказанных трех видов.

Благодаря ряду перечисленных положительных сторон, а также комплектности привода, снабженного встроенными термической защитой, тормозами и вращающимися трансформаторами в качестве датчиков обратной связи, использование высокомоментных двигателей в приводах подач в настоящее время является наиболее перспективным.

В Болгарии освоено производство высокомоментных двигателей серии КЕ пяти типоразмеров с номинальным крутящим моментом от 2,1 до 100 Н·м и диапазоном регулирования скорости 1 : 10 000. Отличительной особенностью этих двигателей является то, что постоянные магниты встроены не в статор, а в ротор. На роторе

18. Характеристика двигателей приводов подач (постоянного тока)

Характеристика	Тип двигателя		
	ПБСТ43	MF26	ПБВ112
Номинальный крутящий момент, Н·м	18,5	9,6	21,0
Средний пусковой момент, Н·м	112	84	196
Момент инерции, кг·м^2	0,057	0,0036	0,054
Номинальная частота, вращения, об/мин	1000	3000	1000
Максимальная частота вращения, об/мин	3000	3500	2000
Максимальное ускорение, рад/с^2	1960	7900	3640
Номинальная мощность, кВт	1,9	3,0	2,2
Высота оси вращения, мм	160	175	112
Длина, мм	758	139	700
Масса, кг	125	30	62

в передней части установлены магниты, в задней части последовательно датчик скорости, электромагнитный тормоз, муфта и датчик положения.

§ 3. ОПОРЫ ШПИНДЕЛЕЙ

Работоспособность шпиндельных опор в условиях резания с частым изменением скоростей и нагрузок зависит от конструкции шпиндельной группы. Конструкции шпиндельных опор разнообразны (рис. 41). Шпиндельные опоры, приведенные на рис. 41, *а*, предназначены для токарных, фрезерных, шлифовальных и многооперационных станков с ЧПУ. В передней опоре установлены два подшипника: двухрядный роликовый подшипник с конусным отверстием во внутреннем кольце серии 3 182 000 и упорно-радиальный сдвоенный подшипник с углом контакта 45° серии 168 140 (или 60° в других сериях). В задней опоре в этом случае размещают радиальный шариковый или чаще роликовый подшипник серии 3 182 000. Оба подшипника передней опоры работают с некоторым натягом. Натяг в роликовом подшипнике серии 3 182 000 достигается за счет осевого смещения вдоль шпинделя внутреннего кольца *8*. В исходном свободном состоянии между беговыми дорожками колец *8*, *10* и роликами *9* имеется радиальный монтажный зазор 0,03—0,06 мм. При смещении вправо вдоль шпинделя *1* внутреннее кольцо *8* растягивается на конусе шпинделя (перемещение на 0,1 мм уменьшает монтажный зазор на 0,008 мм), монтажный зазор вначале уменьшается до нуля, а затем в подшипнике появляется натяг. Величина натяга ограничивается с помощью дистанционного кольца *11*.

Упорно-радиальный подшипник воспринимает осевые нагрузки и повышает радиальную жесткость передней опоры. Его изготовляют в дуплексированном исполнении с предварительным натягом, и он состоит из деталей пяти наименований: колец *3*, *7*, наружной обоймы *6*, втулки *5* и двух рядов шариков *4* в сепараторах.

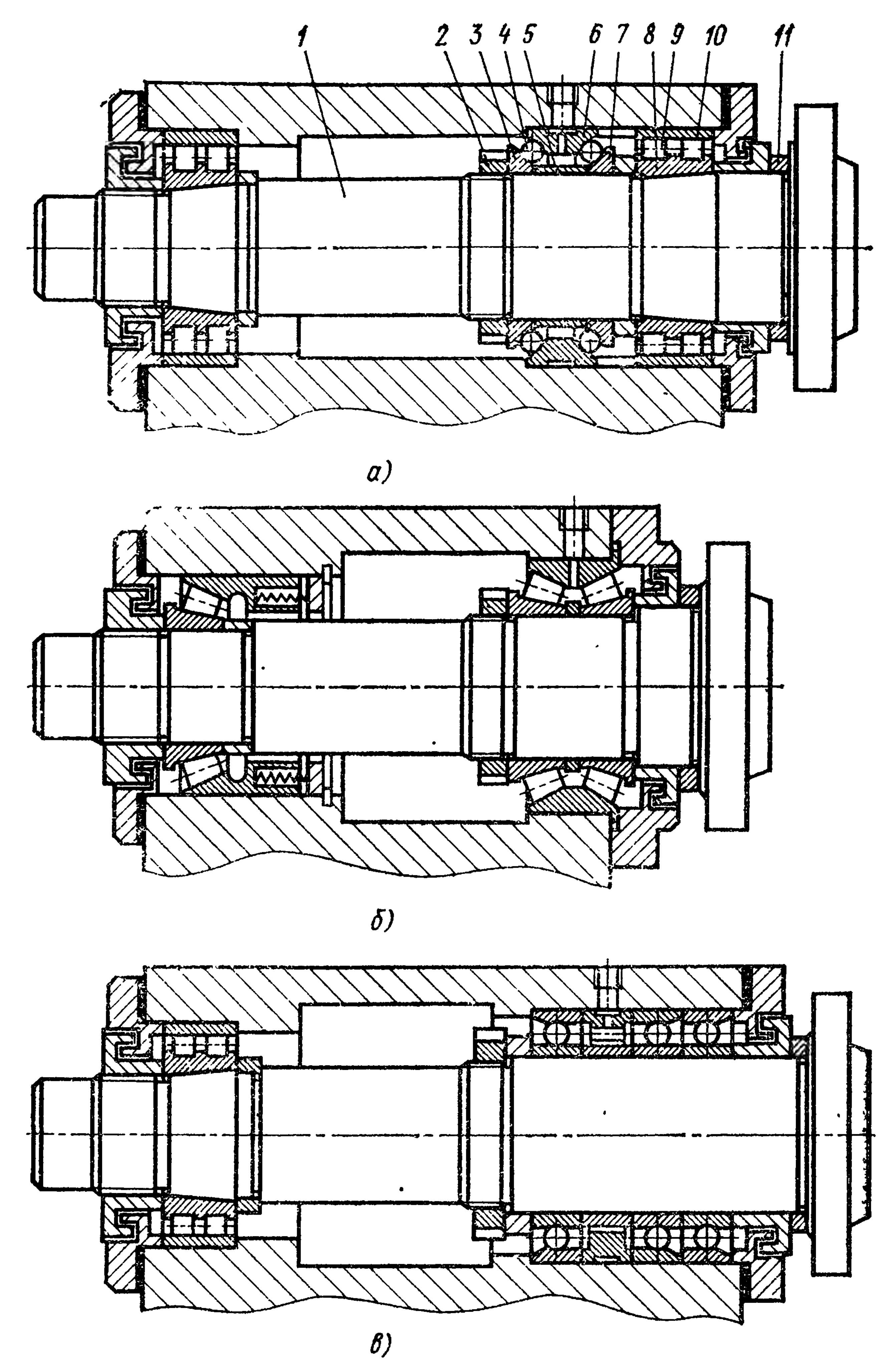


Рис. 41. Шпиндельные опоры станков с ЧПУ

При затягивании гайкой *2* до плотного смыкания торцов колец *3*, *7* и втулки *5* в подшипнике между кольцами, шариками и наружной обоймой возникает натяг, обеспеченный при изготовлении подшипника размерами сопрягаемых деталей.

В устройстве шпинделя по типу приведенного на рис. 41, *б* использован в задней опоре конический роликоподшипник с широким наружным кольцом, поджимаемым пружиной, а в передней опоре — двухрядный конический роликовый подшипник с буртом на наружном кольце. Опоры такого типа применяют в конструкциях средних и тяжелых токарных и фрезерных станков. Шпин-

дельные узлы, показанные на рис. 41, *в*, предназначены для легких и средних токарных, фрезерных и шлифовальных станков.

В шпиндельные опоры устанавливают подшипники самых высоких (второго и четвертого) классов точности по ГОСТ 520—71. Собранное шпиндельное устройство благодаря высокой точности шпинделя, расточек корпуса шпиндельной бабки, подшипников, втулок и гаек имеет высокую выходную точность, определяемую обычно радиальным биением оправки, установленной в отверстие шпинделя, у корня и на вылете; осевым биением шпинделя; радиальным биением посадочного пояска шпинделя; торцовым биением опорного бурта шпинделя. Допускаемые отклонения не превышают нескольких микрометров или нескольких десятков микрометров в зависимости от класса точности и размеров станка.

§ 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ

Направляющие станков служат для осуществления движения подачи рабочих органов, главного движения (карусельные и продольно-строгальные станки) и перестановки узлов, например задних стоек горизонтально-расточных станков, задних бабок токарных станков, люнетов и др. По траектории различают направляющие прямолинейного и кругового движения, по расположению в пространстве — горизонтальные, наклонные и вертикальные направляющие.

Направляющие станков с ЧПУ должны обладать следующими свойствами: обеспечивать перемещение узлов с минимальными отклонениями от заданной траектории с точным выходом в заданное положение; создавать наименьшее сопротивление перемещению узлов; обеспечивать сохранение работоспособности и точности в течение длительного срока эксплуатации;

уменьшать и, по возможности, устранять неравномерность перемещения и скачки при медленных движениях и в моменты трогания с места и остановок;

обеспечивать демпфирование колебаний, возникающих при медленных перемещениях, резании и резонансных явлениях в цепях приводов подач.

Эти свойства определяются геометрической точностью направляющих, жесткостью и демпфирующими свойствами конструкции, материалами и износостойкостью пары трения, условиями смазки и сортом масел, конструктивными особенностями направляющих и качеством их изготовления.

При конструировании направляющих стремятся добиться, чтобы давление от сил резания и массы узлов распределялось по длине направляющих более равномерно, а опрокидывающие моменты от сил резания и тяги, действующие на подвижные узлы, были малыми. При перемещениях подвижных узлов в процессе обработки давление должно сохраниться на одних и тех же гранях

направляющих, в противном случае возможно переориентирование узлов в пространстве и возникновение погрешностей обработки.

§ 5. НАПРАВЛЯЮЩИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Наибольшее распространение имеют четыре типа сечений направляющих прямолинейного движения: прямоугольные (рис. 42, *а*), треугольные (призматические) (рис. 42, *б*), трапециевидные (ласточкин хвост) (рис. 42, *в*) и круглые (рис. 42, *г*), а также комбинированные из перечисленных. Эти сечения могут иметь охватывающую и охватываемую формы.

Основные нормы точности направляющих прямолинейного движения приведены в табл. 19.

В зависимости от нагрузки, скорости, типа смазки и маслораспределения направляющие движения подач могут работать в режимах граничного, смешанного трения и трения со смазкой.

При самых малых скоростях движения (до 50—100 мм/мин) направляющие работают в режиме граничного трения. Действующие в стыке нагрузки приводят к разрыву слоя смазки, возникновению трения без смазки, возрастанию сопротивления силе тяги и, как следствие, возникновению скачкообразного движения.

При более высоких скоростях в направляющих возникает смешанное трение. Оно характеризуется тем, что на подвижный узел действует гидродинамическая подъемная сила, которая воспринимает часть нагрузки, но не обеспечивает полного разделения слоем смазки поверхностей трения. При смешанном трении необходимо различать коэффициент трения f_t покоя и меньший по величине коэффициент трения f_v движения.

Коэффициент трения покоя в паре чугун—чугун $f_t = 0{,}21 \div 0{,}28$ при обычных маслах, а при антискачковом масле ИНС$_{ц}$ снижается до 0,075—0,09, в паре фторопласт—чугун $f_t = 0{,}04 \div$

19. Нормы точности направляющих

Длина перемещения, мм, при проверке			Допускаемое отклонение, мкм, при классе точности станка		
плоскостности	параллельности (перпендикулярности)	прямолинейности	Н	П	В
—	—	125	8	5	3
—	125	200	10	6	4
125	200	320	12	8	5
200	320	500	16	10	6
320	500	800	20	12	8
500	800	1250	25	16	10
800	1250	2000	32	20	12
1250	2000	3200	40	25	16
2000	3200	5000	50	32	20

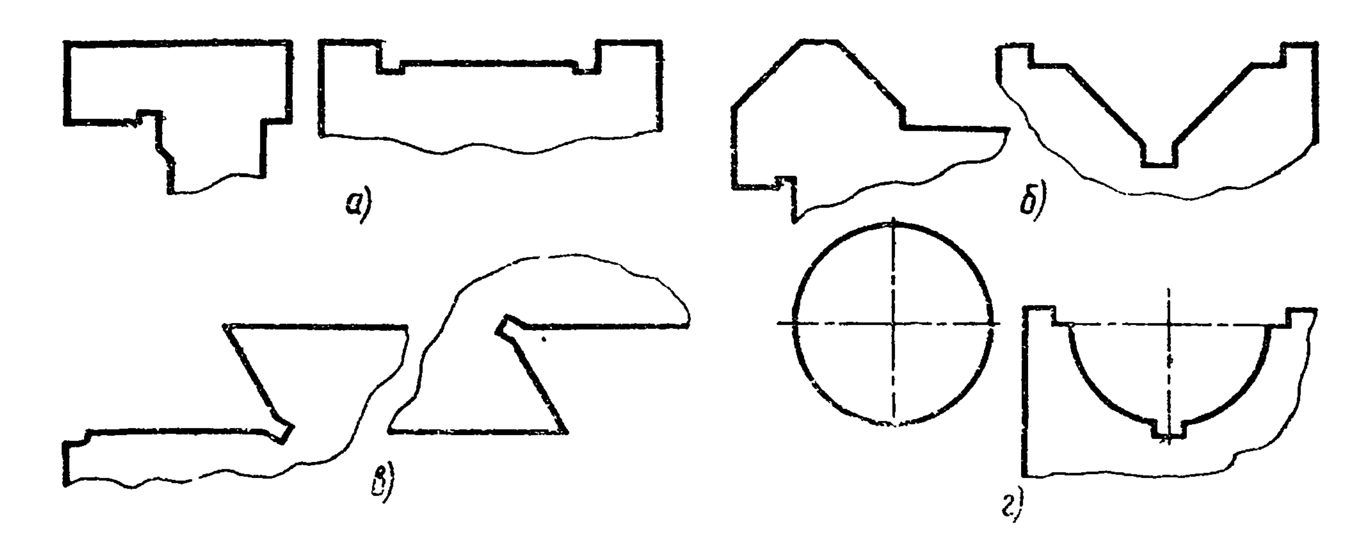


Рис. 42. Типы направляющих скольжения

$\div$0,06. Разность коэффициентов трения покоя и движения $\Delta f = f_t - f_v$, для традиционных материалов (сталь, чугун) и обычных масел в среднем $\Delta f = 0{,}09$.

Погрешность остановки узла определяется зависимостью

$$\Delta = (1 \div 2)\frac{\Delta T}{j_{\text{пр}}} = (1 \div 2)\frac{\Delta f N}{j_{\text{пр}}},$$

где ΔT — разность сил трения покоя и движения, Н; N — нормальная нагрузка, Н; $j_{\text{пр}}$ — жесткость привода, Н/мкм. Для пар чугун—чугун, чугун—сталь при массе узла 1000 кг и жесткости привода 100—150 Н/мкм погрешность остановки может достигать 0,01—0,02 мм. Уменьшение погрешности остановки узлов до 1—3 мкм и неравномерности медленных движений могут быть достигнуты за счет сокращения разности коэффициентов трения покоя и движения и устранения зазоров в передаче движения и повышения жесткости привода подач. Первое направление реализуется при использовании специальных материалов для направляющих и антискачковых смазок, перехода на гидростатические направляющие и направляющие качения. Второе связано с применением в конструкции приводов подач коротких беззазорных кинематических цепей.

§ 6. МАТЕРИАЛЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ СКОЛЬЖЕНИЯ

К материалам направляющих предъявляют следующие технические требования.

1. Износостойкость. Износ направляющих определяет их работоспособность и сохранение точности в течение требуемого периода эксплуатации.

2. Малая величина коэффициента трения покоя и незначительная его зависимость от продолжительности неподвижного контакта, малая величина коэффициента трения движения, близость его по величине к коэффициенту трения покоя и небольшая зависимость от скорости движения.

3. Стабильность размеров во времени от действия внутренних напряжений и стойкость к тепловым нагрузкам, воздействию влаги, масел, слабых кислот и щелочей.

4. Достаточная жесткость с учетом возможного снижения ее за счет дополнительных стыков у накладных направляющих и при использовании пластмасс повышенной податливости.

5. Хорошая обрабатываемость для достижения необходимых точности и шероховатости поверхности.

6. Экономические показатели, которые определяют из сопоставления затрат на изготовление направляющих повышенного технического уровня и экономии, полученной от этого.

Пару трения скольжения чаще всего комплектуют из разнородных материалов, имеющих различные составы, структуру и твердость; этим устраняют угрозу опасной аварийной ситуации — схватывания. Направляющие станин изготавливают из более износостойких и твердых материалов, чем направляющие подвижных узлов. За счет этого достигают более длительного сохранения точности, так как она определяется в основном точностью более длинных направляющих станин.

Материалы, применяемые для направляющих скольжения станков, делят на три группы: упрочненные стали и чугуны, цветные сплавы, пластмассы.

Чугунные закаленные направляющие чаще всего изготовляют из чугуна СЧ20, СЧ 25, СЧ 30 за одно целое. Нагрев при закалке осуществляют токами высокой частоты или газопламенным методом. Накладные направляющие изготавливают из следующих упрочненных материалов: цементированных и закаленных сталей 20Х и 18ХГТ; высокоуглеродистых хромистых закаленных сталей ШХ15, ШХ15СГ, ХВГ, 9ХС, 7ХГ2В, 8ХФ; азотированных сталей 38ХМЮА, 40ХФ, 30ХН2МА, легированных и модифицированных закаленных чугунов СЧ 30 с твердостью под закалку не менее *HB* 170. Твердость закаленных чугунных направляющих *HRC* 48—53, твердость стальных *HRC* 58—62.

Из цветных сплавов используют для направляющих подвижных элементов бронзы и цинковые сплавы. Наилучшие результаты по износостойкости, отсутствию задиров и равномерности подачи дают алюминиевая бронза Бр АМц9-2 и цинковый сплав ЦАМ 10-5, работающие в паре со стальными и чугунными направляющими. Недостатком сплава ЦАМ 10-5 является невысокая износостойкость при абразивном изнашивании, в связи с чем направляющие с этим материалом требуют хорошей защиты.

Пластмассы используют для направляющих подвижных узлов некоторых станков с ЧПУ. Положительные свойства пластмасс — благоприятные характеристики трения, способствующие равномерности перемещения подвижных устройств при малых скоростях, отсутствие явления схватывания. Однако большинство пластмасс не имеют достаточной жесткости и необходимой стойкости к воздействию тепловых нагрузок, влаги, масла, слабых щелочей и кислот. В станках используют фторопласт, наклеиваемый в виде ленты, наполненный фторопласт с бронзовым наполнителем и композиционные материалы на основе эпоксидных смол с при-

садками дисульфида молибдена, графита и неметаллических наполнителей.

Композиционные материалы характеризуются также высокой технологичностью, так как позволяют изготовить направляющие столов и кареток без дальнейшей механической обработки. Непосредственно перед нанесением на поверхность приготовляют из специальных компонентов (смолы, порошков, пластификатора и отвердителя) пастообразную мастику, которой покрывают направляющие. Каретку или стол с нанесенной мастикой укладывают непосредственно на направляющие выверенной по уровню станины, на которые для предотвращения прилипания напылен тонкий разделительный слой воскового покрытия или тонкий слой смазки. Время затвердевания составляет несколько часов. При необходимости такое пластмассовое покрытие может быть обработано резанием (строганием, фрезерованием, шлифованием, шабрением).

§ 7. НАПРАВЛЯЮЩИЕ КАЧЕНИЯ. РОЛИКОВЫЕ ОПОРЫ

Направляющие качения широко применяют в конструкциях станков с ЧПУ. Они обладают следующими преимуществами: хорошими характеристиками трения; равномерностью и плавностью движения при малых скоростях; работой без зазоров; высокой жесткостью; малым тепловыделением; длительным сохранением точности; простотой смазки. К недостаткам можно отнести некоторое удорожание конструкции, а также пониженную демпфирующую способность в направлении перемещений. Для устранения последнего недостатка часто в станках используют комбинированные направляющие, в которых часть поверхностей направляющих работает в режиме качения, а часть в режиме скольжения.

В качестве тел качения используют ролики. Применяют две схемы построения направляющих: подвижный узел опирается по всей длине на ролики (рис. 43); подвижный узел опирается на короткие по длине роликовые опоры с циркуляцией тел качения по замкнутой траектории. Такие опоры

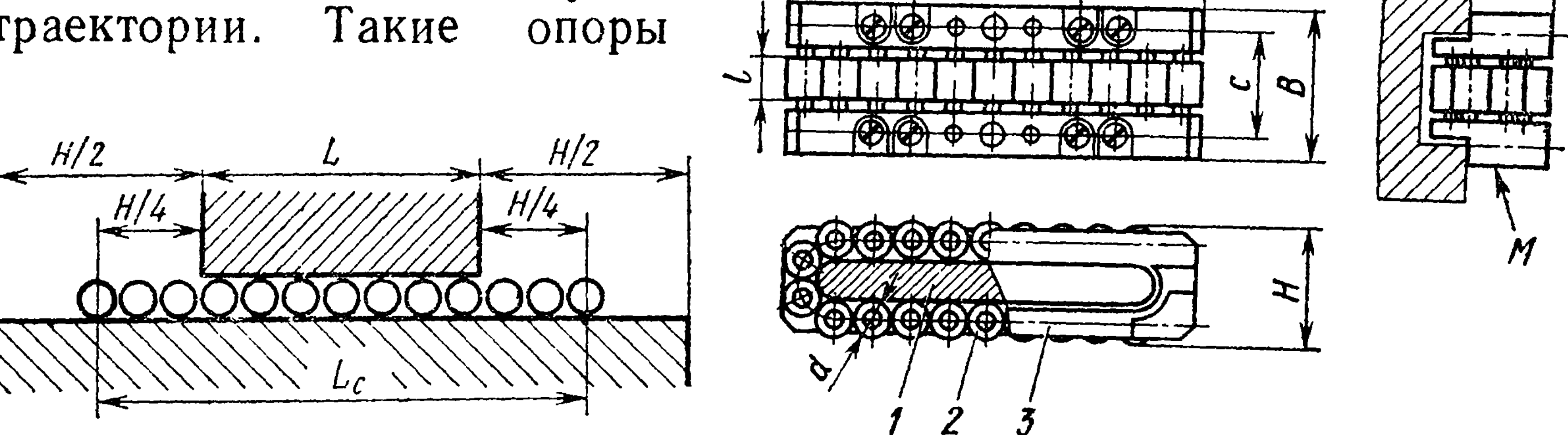


Рис. 43. Направляющие качения с опорой подвижного органа по всей длине: L — длина направляющих стола; L_c — длина сепаратора; H — длина хода стола

Рис. 44. Роликовая опора с циркуляцией тел качения

20. Размеры роликовых опор

Типоразмер опоры	Размеры, мм								Крепежные винты
	L	B	H	h	c	a	d	l	
Р88-101	75	42	22	16	34	44	6	14	М4
Р88-102	95	52	32	24	42	52	8	20	М5
Р88-103	135	66	39	29	52	80	10	25	М6
Р88У-101	75	25,6	18,7	12,7	20,6	25,4	6	8,4	М3
Р88У-102	105	38,3	28	20	31	38	8	12,5	М4
Р88У-103	140	51	37	27	41	51	10	18,5	М5
Р88Ш-101	75	33,7	18,7	12,7	28,5	25,4	6	16,5	М3
Р88Ш-102	105	46,3	28	20	39,2	38	8	20,5	М4
Р88Ш-103	140	58,5	37	27	48,5	51	10	26	М5

представляют собой отдельные самостоятельные элементы, своего рода подшипники качения прямолинейного движения. Они позволяют использовать качение при сколь угодно большой длине хода рабочих органов.

Отраслевым стандартом определены типоразмеры роликовых опор с циркуляцией тел качения нормальной Р88, узкой Р88У и широкой Р88Ш серий (табл. 20).

Конструкция роликовой опоры Р88 представлена на рис. 44. Опора состоит из направляющей *1*, вокруг которой обкатываются ролики *2*. От выпадения и боковых смещений ролики удерживаются обоймами *3*, шпонками и пружинами. К монтажной поверхности подвижных узлов опоры крепят винтами и штифтуют. Несколько иную конструкцию имеют роликовые опоры РОД.

Основными показателями работоспособности роликовых опор являются нагрузочная способность, жесткость, сопротивление движению, плавность перемещения и долговечность.

Нагрузочная способность и долговечность опор определяются контактной выносливостью рабочих поверхностей корпусов и роликов. Допускаемые длительно действующие нагрузки (статическая прочность) при работе в паре со стальными закаленными направляющими твердостью *HRC* 58—62 при долговечности, соответствующей пути в 250 км, приведены в табл. 21.

Жесткость *j* опор характеризуется отношением нагрузки к упругому перемещению. При

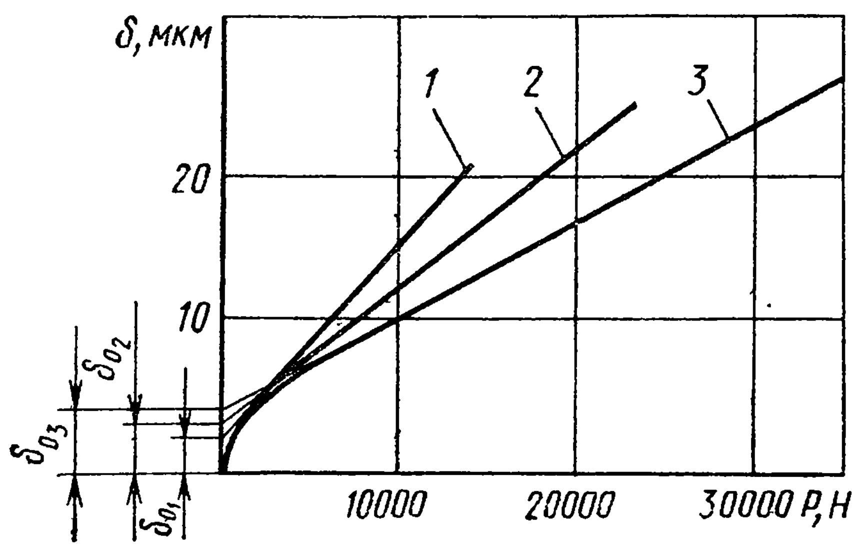


Рис. 45. Зависимость упругих перемещений от нагрузки в роликовых опорах:
кривые *1*, *2*, *3* соответственно для опор Р88-101 (δ_{01}), Р88-102 (δ_{02}), Р88-103 (δ_{03})

21. Допускаемая нагрузка на роликовые опоры

Диаметр ролика, мм	Допускаемая погрузка, Н, опор серии		
	Р88	Р88У	Р88Ш
6	25 000	17 000	33 000
8	49 500	43 000	68 000
10	105 000	85 000	170 000

22. Выбор силы и величины предварительного натяга в роликовых опорах

Типоразмер опоры	j, Н/мкм	δ_0, мкм	$\delta_н$, мкм	$P_н$, Н
Р88-101	850	2	5	2 500
Р88-102	1200	3	7	4 800
Р88-103	1800	4	10	10 800

Примечание. δ_0 — начальная деформация; $\delta_н$ — рекомендуемая величина предварительного натяга; $P_н$ — сила предварительного натяга.

нагрузке менее 5000 Н зависимость упругих перемещений δ (рис. 45) (табл. 22) от нагрузки P имеет нелинейный характер, при больших нагрузках она становится линейной.

Сопротивление движению характеризуется силой, необходимой для перемещения роликовой опоры. Показателем сопротивления движению может служить условный коэффициент трения f, равный отношению силы сопротивления движению к нормальной нагрузке на опору. С увеличением нагрузок условный коэффициент трения падает. При нагрузках более 10 000 Н f = 0,001 ÷0,003. Показателем сопротивления движению может служить также минимальный угол наклона плоскости, с которой опора при малых нагрузках безостановочно скатывается. Рекомендуется проверять перед монтажом качество изготовления опоры качением ее по наклонной плоскости с уклоном 1 : 30.

§ 8. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ КАЧЕНИЯ И КОМБИНИРОВАННЫХ

Направляющие качения конструируют незамкнутыми и замкнутыми (рис. 46). Незамкнутые направляющие (рис. 46, *а*) применяют только для горизонтального перемещения, при этом натяг в вертикальной плоскости создается массой узла, а в горизонтальной — специальными устройствами. Конструктивно они проще замкнутых, но не могут воспринимать больших опрокидывающих моментов. Замкнутые направляющие (рис. 46, *б*) воспринимают большие моменты, натяг в обеих плоскостях создается

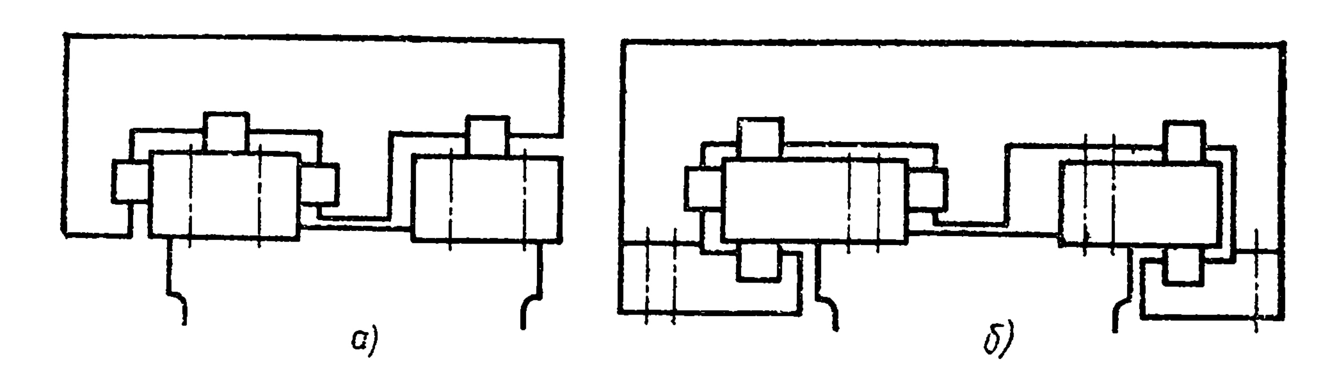


Рис. 46. Направляющие качения

специальными регулирующими устройствами (на рисунке роликовые опоры условно показаны прямоугольниками).

Обычно роликовые опоры встраивают в узлы с предварительным натягом. Предварительный натяг в замкнутых направляющих создают двумя способами: пригонкой размеров или регулировочными устройствами. Первый способ прост конструктивно и дает высокую жесткость, однако он имеет недостатки — невозможно регулировать натяг в процессе эксплуатации и сложно подгонять требуемый натяг при первоначальной сборке. Второй способ при усложнении конструкции, увеличении размеров и меньшей жесткости лишен данного недостатка.

Для создания натяга с помощью регулировочных устройств одну роликовую опору закрепляют в корпусе неподвижно, а противоположную с помощью регулировочного устройства можно перемещать в процессе монтажа (рис. 47). На основании исследований, выполненных в ЭНИМСе, даны рекомендации по выбору типа регулировочного устройства. В конструкциях, где необходима самоустановка опор, рекомендуется применять устройства

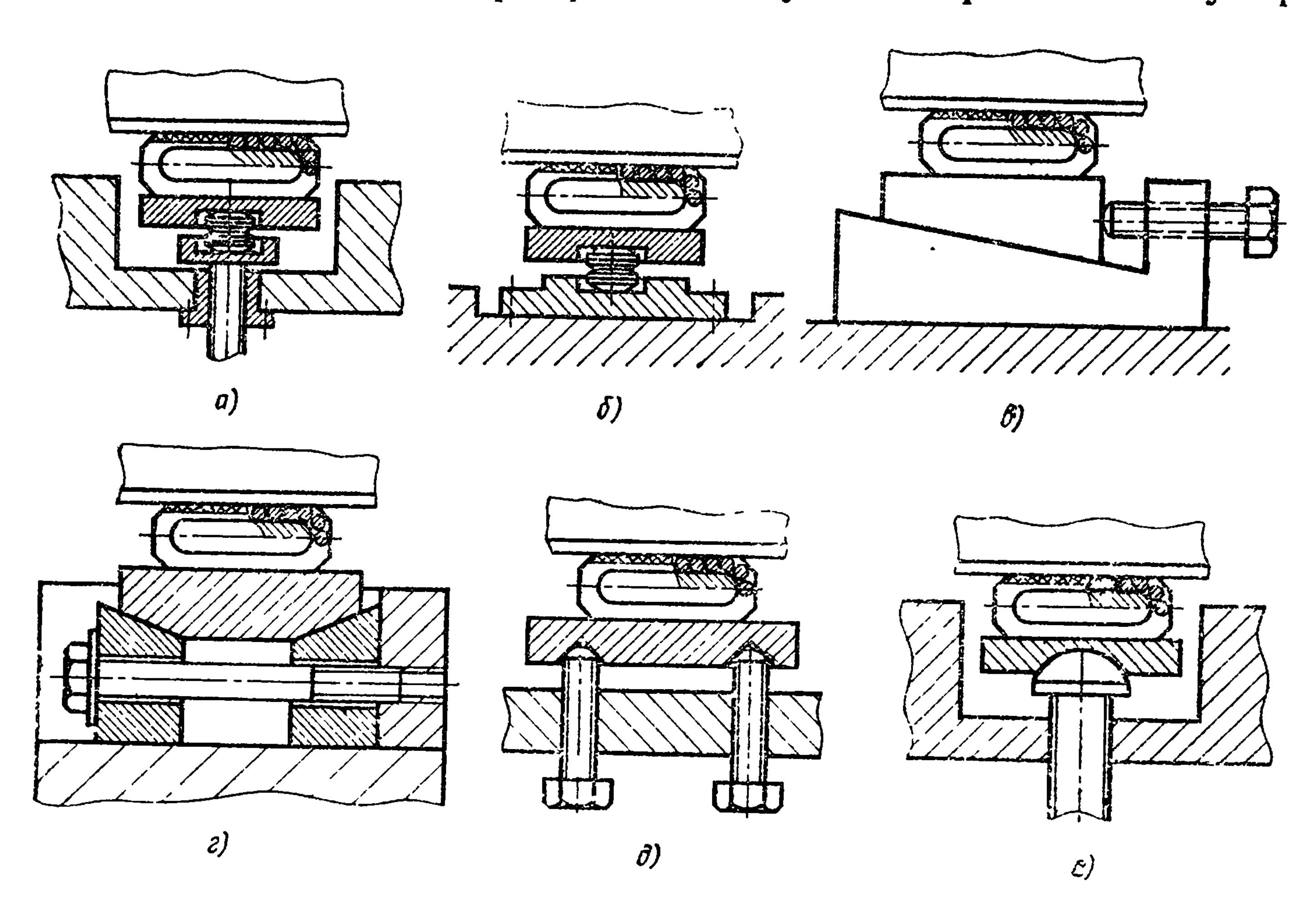
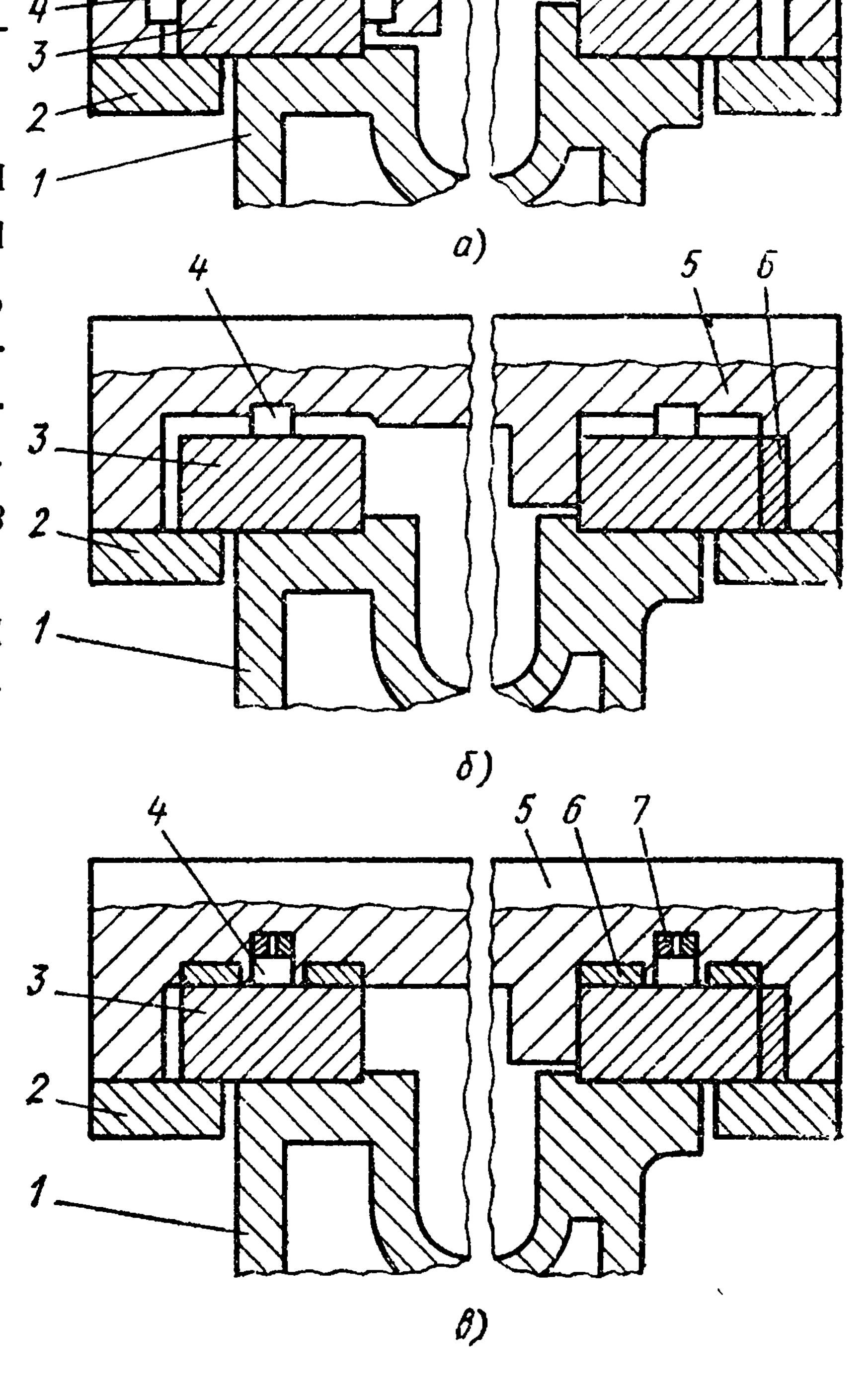


Рис. 47. Основные типы устройств для регулирования предварительного натяга:

а — пружинами и винтами; *б* — пружинами; *в* — простым клином; *г* — двумя встречно расположенными клиньями; *д* — подвижной планкой и винтами; *е* —шаровой опорой

Рис. 48. Комбинированные направляющие качения-скольжения:

1 — станина; *2* — прижимная планка; *3* — накладная направляющая станины; *4* — роликовая опора; *5* — подвижный стол; *6* — направляющая скольжения стола; *7* — пружины



с пружинами (рис. 47, *б*) или винтами с шариковыми опорами (рис. 47, *е*), а в конструкциях, где самоустановка необязательна, но важна высокая жесткость — регулировочные устройства с клиньями (рис. 47, *в* и *г*).

В станках применяют три основных вида комбинированных направляющих качения-скольжения:

направляющие, в которых основные поверхности скольжения, а боковые качения (рис. 48, *а*); в таких направляющих устранено влияние боковых зазоров;

направляющие, в которых основные поверхности качения, а боковые — скольжения (рис. 48, *б*);

направляющие, в которых основные поверхности скольжения дополнены подпружиненными роликовыми опорами (рис. 48, *в*).

В станках с ЧПУ всех типов широко применяют направляющие, приведенные на рис. 48, *а*. В направляющих тяжелых станков для разгрузки подвижных узлов используют направляющие, приведенные на рис. 48, *в*.

Под опоры качения устанавливают стальные накладные направляющие, закаленные до высокой твердости.

Чаще применяют так называемое «узкое» боковое направление, когда устройство от боковых смещений подвижного органа замыкается на одной направляющей. Примеры узкого бокового направления см. на рис. 46 и 48. Узкое боковое направление в сравнении с «широким» облегчает изготовление и контроль направляющих, уменьшает влияние на точность температурных деформаций.

Для предотвращения неравномерного распределения нагрузок и преждевременного выхода роликовых опор из строя необходимо тщательно выверить при монтаже их положение. Разновысотность опор, установленных в одной плоскости, не должна превышать 3 мкм. Выверку и контроль положения опоры производят по торце-

вой плоскости *М* (см. рис. 44), которая должна быть строго параллельна направлению перемещения узла. Перекос опор в продольной плоскости должен быть не более 10—12 мкм на длине 100 мм, а в поперечном — 3 мкм. Превышение каждого из этих значений в 2 раза сокращает допускаемую нагрузку на опору так же в 2 раза.

Смазку в жидком или пластичном виде нужно подавать периодически в канал возврата роликов или на направляющие. Для защиты от загрязнения применяют скребки, телескопические щитки или раздвижные меха.

§ 9. ПЕРЕДАЧА ВИНТ—ГАЙКА КАЧЕНИЯ

Передачи винт — гайка качения в приводах подач станков с ЧПУ нашли широкое применение благодаря некоторым преимуществам по сравнению с винтовыми парами скольжения. Винтовые пары качения имеют высокий КПД, в них коэффициенты трения покоя и движения близки друг другу по величине, силы трения не зависят от скорости движения. При выборе зазора в паре образуется беззазорная передача с достаточно высокой осевой жесткостью.

Передача (рис. 49, *а*) состоит из винта *1*, гайки *2*, комплекта шариков *3* и устройства *4* для возврата шариков. В наиболее распространенной конструкции шарики возвращаются по каналу, выполненному во вкладыше. Последний размещен в окне гайки. Канал во вкладыше соединяет конец витка с его началом, тем самым образуется замкнутый контур, по которому циркулируют шарики. Чаще всего в станках с ЧПУ применяют гайки, имеющие три независимых рабочих контура (витка), в этом случае окна со вкладышами размещают под углом 120° друг к другу со сдвигом в осевом направлении на один шаг винтовой линии.

Отраслевым стандартом установлены основные параметры передачи винт — гайка качения (табл. 23) и присоединительные размеры корпусов, в которые устанавливают гайки.

Номинальный диаметр винта d_0 (рис. 49, *б*) равен диаметру условного цилиндра, образованного траекториями движения центра шариков.

Существует несколько профилей резьбы винта и гайки: прямоугольный, трапецеидальный, «стрельчатой арки» и полукруглый. Последний широко применяют в станках с ЧПУ, как наиболее технологичный. Радиус профиля винта $r_в$ и гайки $r_г$ делают

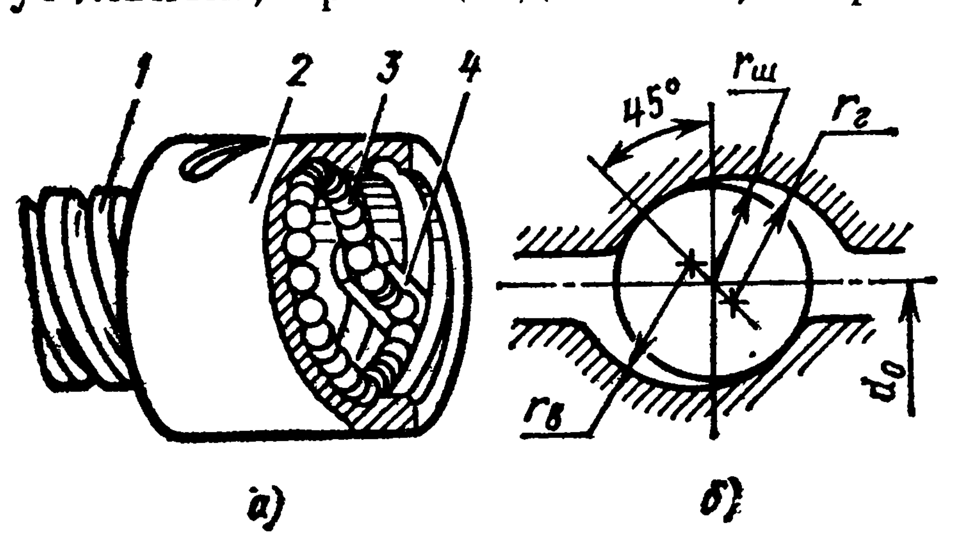


Рис. 49. Передача винт—гайка качения (*а*) и полукруглый профиль резьбы (*б*)

23. Размеры передачи винт—гайка качения, мм

Номинальный диаметр винта d_0	Диаметр шарика $d_ш$	Шаг P	Максимальная длина винта L_{max}	Номинальный диаметр винта d_0	Диаметр шарика $d_ш$	Шаг P	Максимальная длина винта L_{max}
16	2 3	3 5	400	50	3 3,5 6 7	5 6 10 12	1500
20	3 3,5	5 6	500				
25	3 3,5	5 6	710	63	3,5 6 7	6 10 12	2500
32	3 3,5 6	5 6 10	1000	80	6 7 10	10 12 20	3000
40	3 3,5 6 7	5 6 10 12	1200	100	6 7 10	10 12 20	4000

близким к радиусу шарика $r_ш$, чтобы максимально снизить контактные напряжения: $r_в = r_г \approx (1{,}03 \div 1{,}05)\, r_ш$.

Диаметральный зазор между винтом и гайкой выбран таким, что угол контакта шариков с винтом и гайкой составляет 45°. Максимальная длина винта установлена из технологических соображений. Пара винт — гайка качения работает чаще всего без осевого зазора, а при необходимости иметь высокую осевую жесткость — при наличии натяга. Для устранения зазора и создания натяга пару снабжают двумя гайками, и с помощью особых устройств смещают одну гайку относительно другой в осевом или угловом направлении.

При осевом смещении под фланец одной из гаек подкладывают компенсаторную прокладку, изменение ее толщины приводит к устранению зазора в резьбе. Более распространена конструкция винтовой пары (рис. 50) с гайками *2* и *3*, снабженными зубчатыми венцами. Число зубьев гаек отличается на единицу. Венцы гаек входят в соответствующие зубчатые венцы корпуса *4*. Разница в один зуб в числе зубьев гаек позволяет производить очень тонкую осевую регулировку пары. Для этого необходимо свинтить корпус *4* с гайками с винта на специальную втулку *5*, надетую на хвостовик винта *1*. Затем следует вывести зубчатые венцы обеих гаек из зацепления с корпусом и повернуть гайки на одно и то же число зубьев z в одну сторону. Осевое сближение профилей резьбы гаек произойдет из-за неравных углов поворотов. Вели-

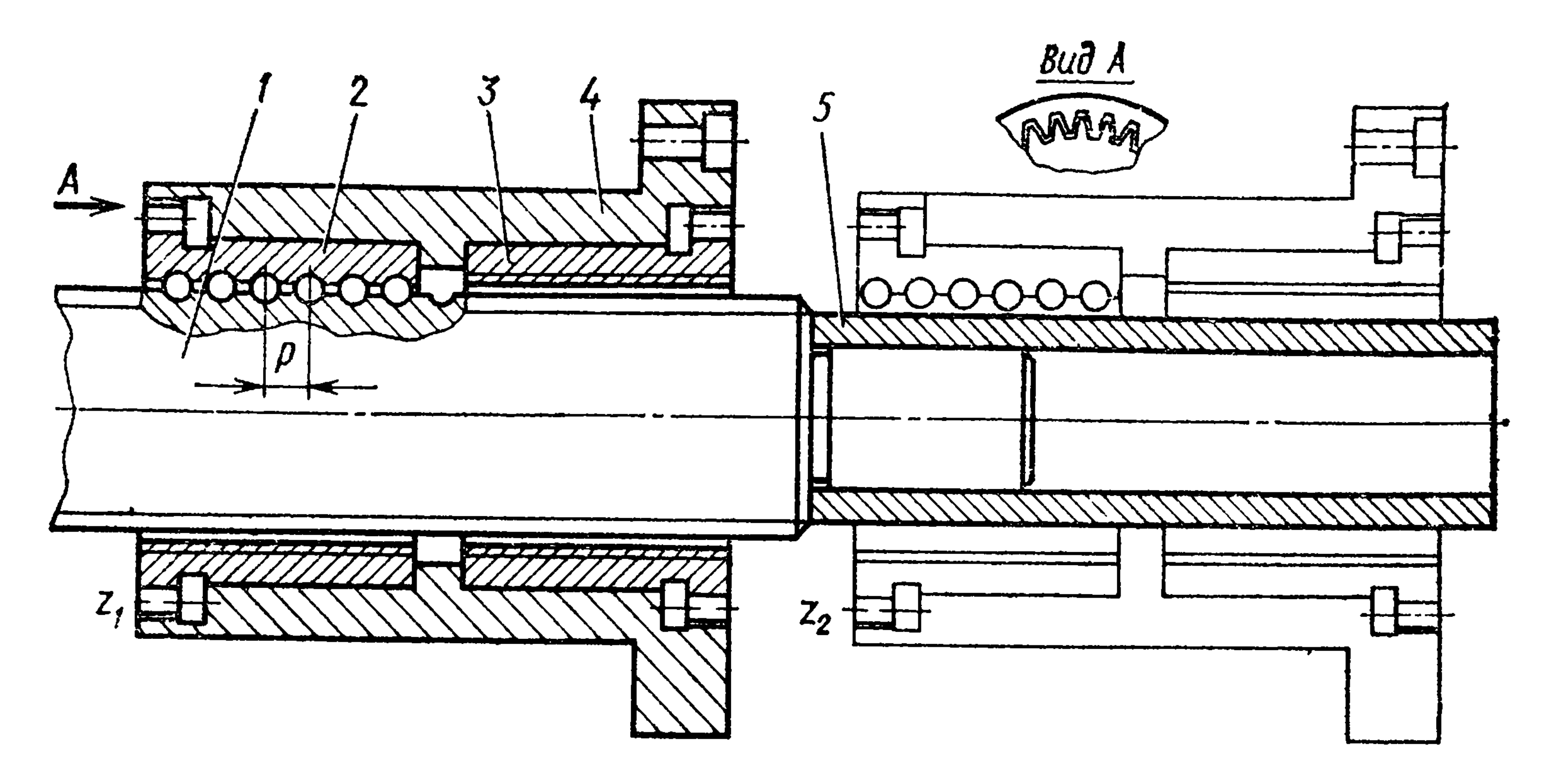


Рис. 50. Схема регулировки осевого зазора (натяга) в винтовой паре качения

чина сближения $\Delta = \frac{Pz}{z_1 z_2}$, где P — шаг винта; z_1 и z_2 — число зубьев зубчатых венцов гаек.

Ходовые винты пар качения изготовляют из высокоуглеродистых хромистых сталей 8ХФ, 7ХГ2ВМ, ХВГ с объемной или поверхностной закалкой токами высокой частоты. Материалом гаек и вкладышей служит сталь 9ХС. Твердость всех элементов пары *HRC* 58—62. В зависимости от точности шага резьбы винты (табл. 24) подразделяют на три класса: Н, П и В (в порядке возрастания точности).

Отклонение радиуса резьбы от номинального значения не должны превышать (+0,010)—(+0,015) мм. Отклонения внутреннего диаметра резьбы ±0,007 мм для малых диаметров (16—32 мм) и ±0,016 мм для больших диаметров (80 и 100 мм). Колебания среднего диаметра резьбы не должны превышать 0,005—0,008 мм на длине 1 м и 0,010 мм на всей длине винта. Разноразмерность шариков должна быть не более 0,002 мм.

В собранной винтовой паре необходимо проверить момент холостого хода и осевую жесткость. Для работы в приводах подач станков с ЧПУ нужно иметь минимальный момент холостого хода и наивысшую жесткость. Увеличение предварительного натяга

24. Допускаемая погрешность шага резьбы винтов качения мкм

Класс точности	В пределах одного оборота	Длина резьбы винта, мм							
		До 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 250	Св 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500
В	4	5	6	8	10	16	25	40	63
П	6	8	10	12	16	25	40	63	100
Н	8	12	16	20	25	40	63	100	160

25. Характеристика винтовых пар качения

Диаметр × × шаг винтовой пары, мм	Осевая жесткость j, $Н$/мкм, не менее	Податливость передачи ω, мкм/Н, не более	Момент холостого хода $M_{х.х}$, Н·м, не более	Максимальная допускаемая осевая статическая нагрузка $[Q_{ст}]$, Н, на один рабочий контур
20×5	300	0,00333	0,16	6 250
25×5	410	0,00244	0,26	8 200
32×5	557	0,00179	0,50	10 900
32×10	445	0,00225	0,41	18 600
40×5	725	0,00136	0,82	14 500
40×6	700	0,00143	0,76	16 300
40×10	600	0,00166	0,63	24 800
50×5	925	0,00108	1,30	18 300
50×10	820	0,00122	1,14	32 800
63×10	1060	0,00094	1,95	43 500
80×10	1390	0,00072	3,21	57 600
80×20	1208	0,00083	2,61	86 600
100×10	1812	0,00055	5,20	73 200
100×20	1739	0,00058	5,24	112 50

в паре повышает ее осевую жесткость, но одновременно также увеличивает момент холостого хода. Кроме того, чрезмерный предварительный натяг может снизить долговечность пары, так как для одной из гаек в зависимости от направления движения сила предварительного натяга суммируется с осевой рабочей нагрузкой. В табл. 25 приведены предельные значения осевой жесткости и моментов холостого хода.

Для передачи с тремя контурами максимальная допускаемая осевая нагрузка равна утроенной величине, указанной в таблице.

При контроле осевой жесткости (или податливости) винтовой передачи измеряют смещение корпуса с гайками относительно винта при осевом нагружении. В общем балансе осевой податливости привода по каждой из управляемых координат податливость винтовой передачи качения составляет обычно 10—40 %. Остальная часть податливости определяется осевой деформацией тела винта, податливостью торцовых стыков в опорах винта, угловой податливостью муфт, а при наличии зубчатых передач — угловыми и осевыми деформациями элементов редукторов.

§ 10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МУФТЫ

Электромагнитные фрикционные многодисковые муфты широко используют в приводах главного движения и подач станков с ЧПУ. Муфты различают по исполнению — контактные (ЭТМ ... 2), бесконтактные (ЭТМ ... 4) и тормозные (ЭТМ ... 6) и по габариту (от 05 до 16). Муфты пятого габарита имеют наружный диаметр 80 мм, муфты шестнадцатого габарита имеют диаметр 270 мм. Соответственно с увеличением габарита увеличи-

26. Основные данные электромагнитных муфт

Исполнение муфты ЭТМ	Параметр	Габарит муфты									
		05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
2, 4, 6	$M_н$	25	25	40	63	100	160	250	400	1000	1600
2, 4, 6	$M_в$	10	16	25	40	63	100	160	250	630	1000
2, 4, 6	$M_{о.\,в}$	0,16	0,25	0,4	0,7	1,0	1,2	2,0	2,5	4,0	6,5
2, 4, 6	$M_{о.\,п}$	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,2	4,5	7,0	12,0	18,0
2	n_{max}	5000	4500	4000	3500	3000	2800	2500	2200	2000	1800
4, 6		7000	6000	5000	4500	4000	3600	3300	3000	2900	2700
2, 4, 6	A_1	3	4	5	7	10	15	18	22	30	50
2, 6	$P_к$	11,1	13,6	15,3	21,6	23,3	30,3	39,0	43,3	64,6	85,6
4		13,4	16,5	18,7	22,6	31,5	32,1	49,1	68,5	89,5	1,01
6	$I_н$	0,46	0,57	0,64	0,92	0,97	1,26	1,62	1,81	2,69	3,57
4		0,56	0,69	0,78	0,94	1,31	1,34	2,10	2,84	3,73	4,21

ваются основные силовые характеристики муфт. Примеры обозначения муфт: ЭТМ082 — муфта контактного исполнения 8-го габарита, ЭТМ134 — муфта бесконтактного исполнения 13-го габарита.

Технические характеристики муфт приведены в табл. 26, в которой должны быть отражены следующие параметры:

$M_н$ — номинальное значение передаваемого момента, Н·м;

$M_в$ — вращающий (динамический) момент, развиваемый включенной муфтой при разгоне, торможении и реверсировании нагрузки, Н·м;

$M_{о.\,в}$ — остаточный момент вращения, развиваемый отключенной муфтой при скольжении в дисках, Н·м;

$M_{о.\,п}$ — остаточный момент покоя, Н·м;

n_{max} — максимально допустимая частота вращения, об/мин;

A_1 — максимально допустимая энергия, рассеиваемая в муфте за один цикл (включение-отключение), кДж;

$P_к$ — мощность, потребляемая катушкой муфты при температуре 20 °С, Вт;

$I_н$ — номинальный ток катушки при температуре 20 °С, А.

Электропитание муфт осуществляется от любых источников постоянного тока напряжением 24 В.

Муфты контактного исполнения (рис. 51) ЭТМ ... 2 состоят из корпуса *1* с катушкой и токоподводящим кольцом *3*, пакета фрикционных магнитопроводящих дисков *4*, *5*, работающих со смазкой, якоря *6* и общей втулки *7*. Внутренние диски *4* расположены на шлицах (с эвольвентным профилем) втулки *7*, наружные диски *5* имеют 6—8 пазов шириной 10—25 мм (в зависимости от габарита муфты) для зацепления с поводком *8* — соединительной деталью механизма, в котором используется муфта.

На катушку 2 с помощью щетки, контактирующей с токоподводящим кольцом 3, подается напряжение, магнитный поток замыкается по контуру Ф, якорь и пакет дисков притягиваются к полюсам корпуса 1, и между сжатыми дисками возникает фрикционное сцепление. Крутящий момент передается по цепи: втулка 7 — внутренние диски 4 — наружные диски 5 — поводок 8.

Боковые поверхности нагруженных фрикционных дисков специально делают не совсем плоскими и снабжают спиральными маслораспределительными канавками, благодаря чему происходит быстрое и четкое расцепление дисков при отключении муфты. Такие диски обеспечивают малую величину остаточных моментов и высокое значение вращающего (динамического) момента при переходных процессах (разгоне, торможении, реверсировании).

Муфты бесконтактного исполнения ЭТМ ... 4 (рис. 52) отличаются от муфт ЭТМ ... 2 наличием составного магнитопровода, образуемого неподвижным корпусом 2 и вращающимся катушкодержателем 1, разделенных так называемыми балластными зазорами. Исключен контакт в элементах токоподвода (щетки и токоподводящего кольца). За счет наличия балластного зазора снижается теплопередача от фрикционных дисков к катушке, что обусловливает повышение эксплуатационной надежности муфт ЭТМ ... 4 при тяжелых работах. Наблюдается предпочтительное использование в станках с ЧПУ муфт бесконтактного исполнения ЭТМ ... 4 по сравнению с муфтами ЭТМ ... 2.

Тормозная муфта ЭТМ ... 6 (рис. 53) имеет фланцевой поводок 1 и охватывающий корпус 2. Якорь 6 подвешен на поводке с помощью кольца 7, закрепленного на поводке 1. Наружные диски 5 сцеплены с неподвижным поводком. Внутренние диски 4 и шлицевая втулка 3, отделенная зазорами от корпуса и якоря, при отключенной муфте свободно вращаются вместе с валом.

При включении муфты к валу прикладывается тормозной момент, равный вращающему моменту муфты. Сила торможения замыкается на корпус механизма по цепи: втулка 3 — внутренние диски 4 — наружные диски 5 — фланец поводка 1 — детали креп-

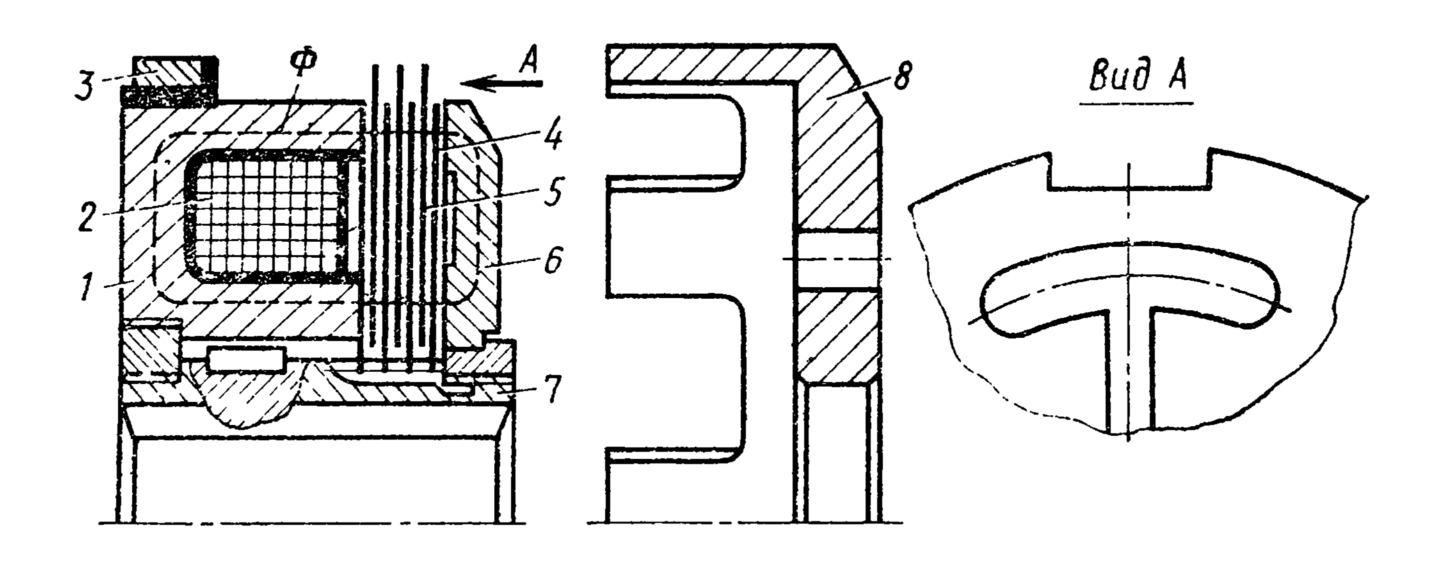
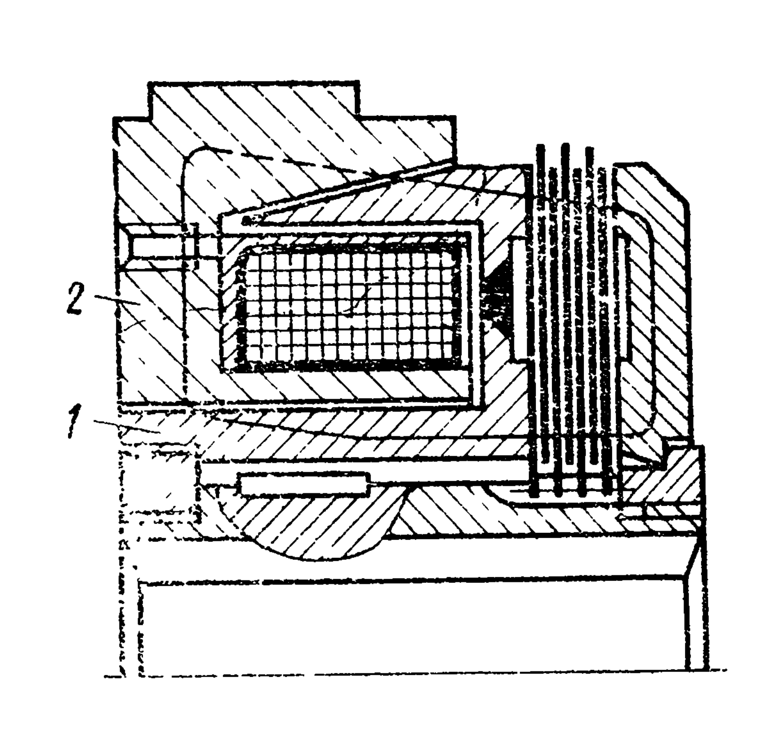


Рис. 51. Муфта контактного исполнения ЭТМ...2 (поводок 8 сдвинут вправо, выведен из зацепления с наружными дисками)



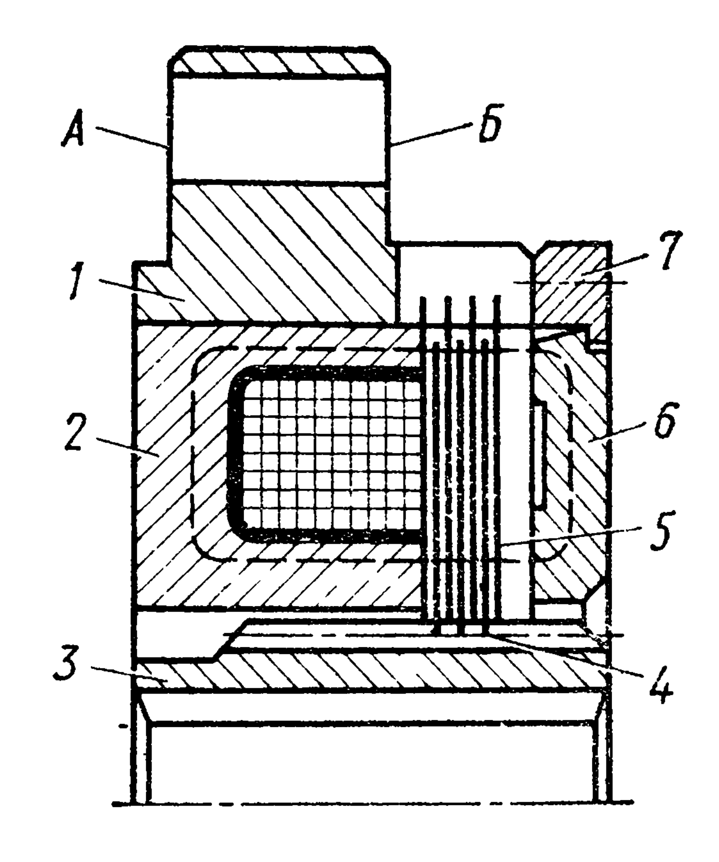


Рис. 52. Муфта бесконтактного исполнения ЭТМ...4 (без поводка)

Рис. 53. Тормозная муфта ЭТМ...6

ления. Поводок может быть прикреплен к стенке узла как плоскостью *А*, так и плоскостью *Б*.

Размеры посадочных мест едины для всех трех исполнений муфт. Смазка муфты осуществляется поливом струей, направленной по радиусу муфты.

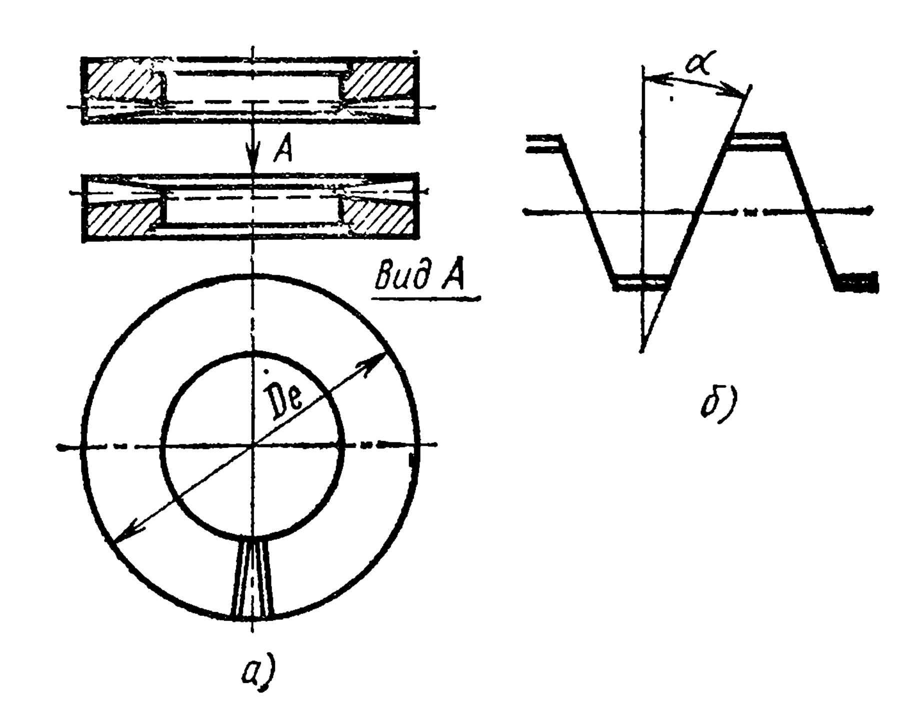
§ 11. ЗУБЧАТЫЕ ТОРЦОВЫЕ МУФТЫ

Зубчатые торцовые муфты широко применяют в делительных устройствах станков с ЧПУ, например в поворотных столах расточных станков или револьверных головках токарных станков. Муфта состоит из двух плоских полумуфт с зубчатыми венцами, одна из которых прикреплена к неподвижной части, а другая — к поворотной.

При сочленении зубья одного венца входят во впадины другого, обеспечивая надежное центрирование, а также прочное, жесткое соединение элементов конструкции и высокую нагрузочную способность. После снятия осевой нагрузки одну полумуфту можно отвести вдоль оси от другой на высоту зуба, при этом происходит расцепление муфты, затем можно сцепить муфту в том же или в другом положении после взаимного поворота полумуфты. Точность фиксации зависит от накопленной погрешности шага зубчатых венцов. Стабильность фиксации при многократном сцеплении зависит от погрешностей профиля и направления зубьев, пятна контакта по высоте и длине зубьев, радиального и торцового биения венцов относительно базирующих поверхностей, силы осевого сжатия и других параметров точности и конструктивных элементов.

Зубчатые венцы представляют собой плоские конические колеса с прямыми или круговыми зубьями, закаленными до высокой

Рис. 54. Зубчатая торцовая муфта с прямыми зубьями



твердости. Сила стягивания обеих полумуфт в револьверных головках и поворотных столах достигает нескольких десятков килоньютонов, увеличение силы обычно повышает стабильность фиксации в результате увеличения жесткости соединения.

Зубчатые венцы обеих полумуфт с прямыми зубьями совершенно одинаковы (рис. 54, *а*). Их обрабатывают на зубофрезерных, зубострогальных и после термообработки на зубошлифовальных или специально приспособленных плоскошлифовальных станках. Зубья имеют переменную по длине зуба высоту, в радиальном направлении прямолинейны, в поперечном сечении имеют форму рейки с углом профиля $\alpha = 20°$ (рис. 54, *б*).

Зубчатые венцы полумуфт с круговыми зубьями (рис. 55) обрабатывают на зубофрезерных и зубошлифовальных станках для конических колес с круговыми зубьями. Боковые стороны зубьев при постоянной высоте по всей длине представляют собой цилиндрические поверхности, описываемые при обработке резцами вращающейся зубонарезной головки или абразивным кругом. Для того чтобы зубья полумуфт могли контактировать по всей длине, одну из полумуфт обрабатывают наружной, а другую внутренней стороной инструмента (с одним и тем же радиусом), в результате чего зубья одной полумуфты имеют выпуклую форму, а другой — вогнутую. Наладку процесса обработки проводят таким образом, чтобы кривизна выпуклых и вогнутых зубьев была одинаковой, что обеспечивает контакт по всей длине зуба. Угол профиля обычно равен 20—45°.

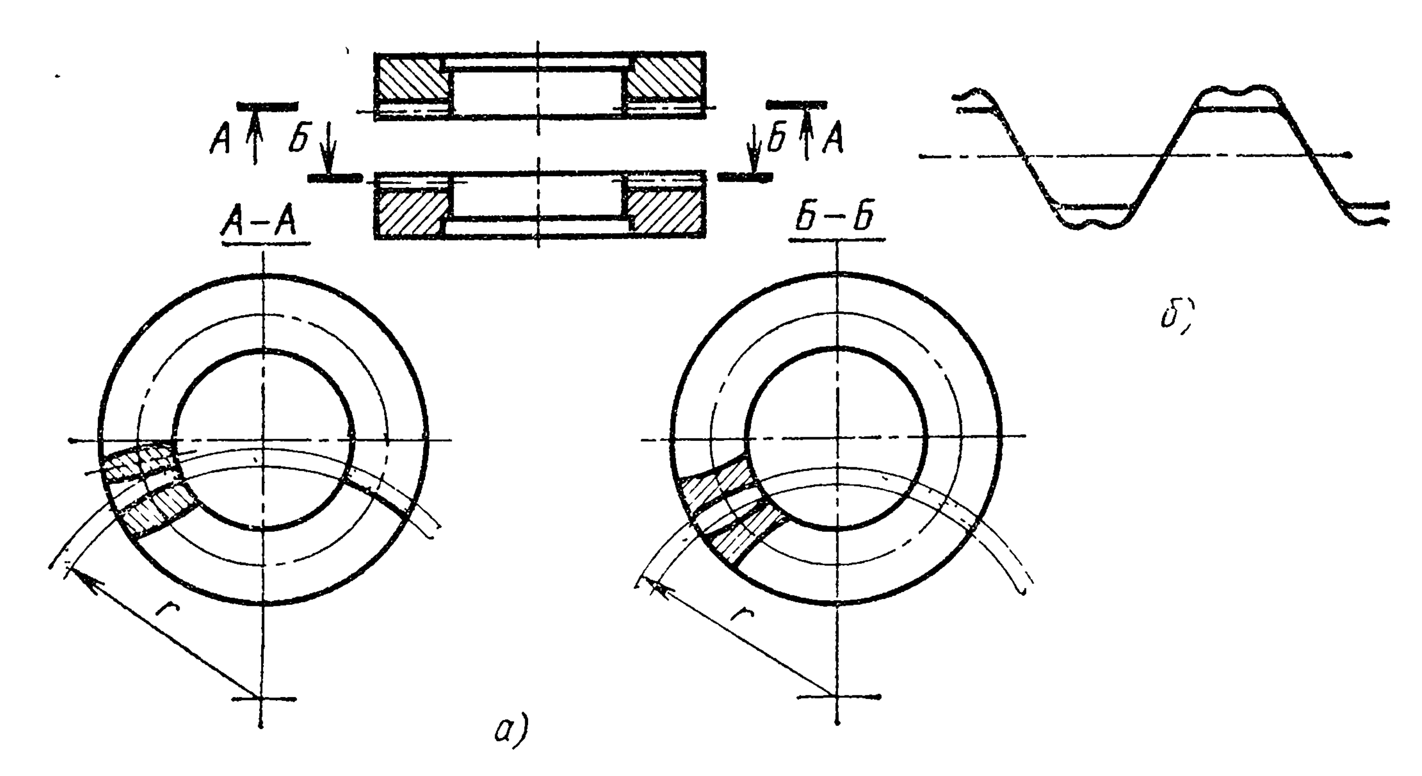


Рис. 55. Зубчатая торцовая муфта с круговыми зубьями (*а*) и профиль зубьев (*б*)

Муфты с прямыми и круговыми зубьями имеют примерно одинаковое распространение в конструкциях станков с ЧПУ. Прямозубые муфты более технологичны (обе полумуфты одинаковы), их можно изготавливать с большим числом зубьев и практически с любой шириной венца, легче контролировать некоторые параметры венца (например, направление зуба). Муфты с круговым зубом при тех же габаритных размерах имеют более высокую жесткость при сдвигающих усилиях и крутящих моментах.

§ 12. КОНИЧЕСКИЕ КОЛЬЦА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Основной недостаток шпоночных соединений для передачи крутящего момента состоит в том, что даже при точной подгонке имеется некоторая нежесткость соединения вала со шпонкой и шпонки с сопрягаемой деталью. Указанные недостатки отсутствуют при соединении с помощью конических колец. Между валом и отверстием втулки устанавливают конические кольца (рис. 56), которые с помощью гайки или винтов сближают в осевом направлении. При этом благодаря конусности поверхностей контакта внутреннее кольцо сжимается и давит в радиальном направлении на вал, а внешнее кольцо растягивается и давит в радиальном направлении на втулку. Давление, развиваемое упругими кольцами, создает беззазорное фрикционное соединение, отличающееся точным центрированием и передающее значительный крутящий момент (табл. 27).

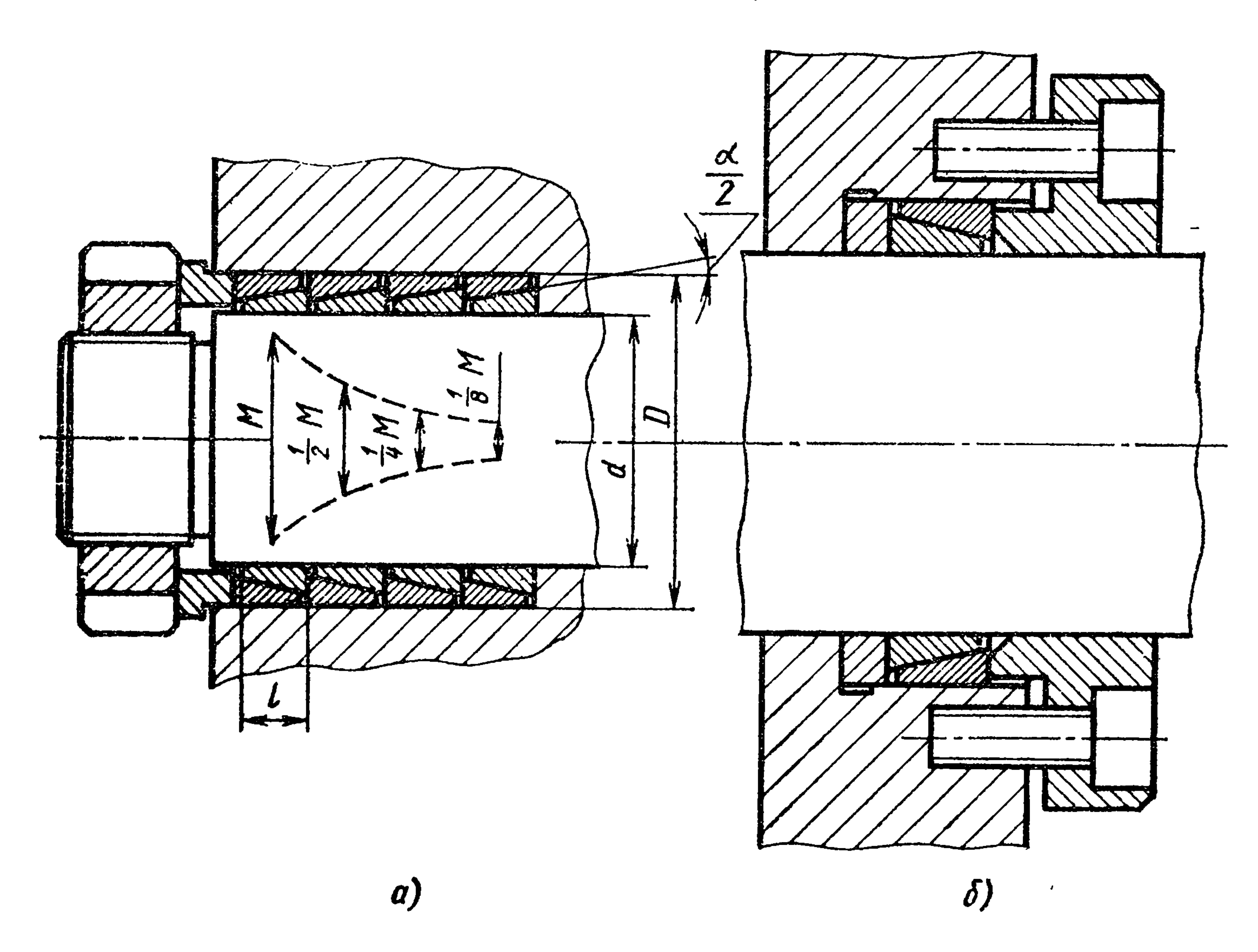


Рис. 56. Варианты конструкции с коническими кольцами:

а — затяжка нескольких рядов колец нажимной гайкой (показана эпюра крутящих моментов); б — затяжка колец винтами через нажимной фланец

27. Значения наибольшего передаваемого крутящего момента M и требуемой осевой силы P (рис. 56, *а*)

d, мм	D, мм	l, мм	Среднее давление на поверхности контакта внутреннего кольца и вала, МПа					
			200,0		100,0		50,0	
			M, Н·м	P, Н	M, Н·м	P, Н	M, Н·м	P, Н
14	18	6,3	48	28 000	24	14 000	12	7 000
16	20	6,3	64	32 000	32	16 000	16	8 000
20	25	6,3	100	40 000	50	20 000	25	10 000
25	30	6,3	156	50 000	78	25 000	39	12 500
32	36	6,3	256	64 000	128	32 000	64	16 000
40	45	8	528	105 600	264	52 800	132	26 400
50	56	8	824	132 000	412	66 000	206	33 000
63	70	9	1 496	19 000	748	95 000	374	47 500
80	88	10	2 560	256 000	1 280	128 000	640	64 000
100	108	11	4 480	358 000	2 240	179 000	1 120	89 500
120	130	12	6 780	452 000	3 390	226 000	1 700	113 000
160	172	14	14 460	72 400	7 230	362 000	3 620	181 000
200	212	16	26 360	1 056 000	13 180	528 000	6 590	264 000
250	264	18	51 620	1 648 000	25 760	824 000	12 800	412 000

Кольца изготавливают из легированной стали с закалкой до *HRC* 45—55. Шероховатость рабочих поверхностей $Ra = 0{,}32 \div 0{,}63$ мкм. Угол конусности $\alpha = 12° 30' \div 17°$. При $\alpha = 12° 30'$ кольца обладают способностью самоторможения, в связи с чем затруднен демонтаж соединения.

С помощью зажимных конических колец в станках соединяются зубчатые колеса с ведущими и ведомыми валами. На основе таких устройств изготавливают жесткие муфты для связи выходных валов двигателей приводов подач с входными валами редукторов или непосредственно с ходовыми винтами.

Для создания осевой силы P рекомендуется применять нажимную гайку до диаметра вала 40 мм, а при больших диаметрах — нажимное кольцо и стяжные винты (рис. 56, *б*).

При необходимости передать большой крутящий момент на вал устанавливают несколько рядов зажимных колец, стягиваемых общей нажимной гайкой или стяжными винтами через нажимное кольцо. Более четырех рядов колец ставить нецелесообразно. Величина крутящего момента, передаваемого каждым следующим рядом колец, падает по гиперболическому закону. Принимают величину момента, передаваемого вторым рядом колец, равной 50 %, третьим рядом — равной 25 % и четвертым — 12,5 % от номинального момента M (см. табл. 27).

Для соединения выходного вала высокомоментного двигателя с хвостовиком ходового винта применяют муфту, приведенную на рис. 57.

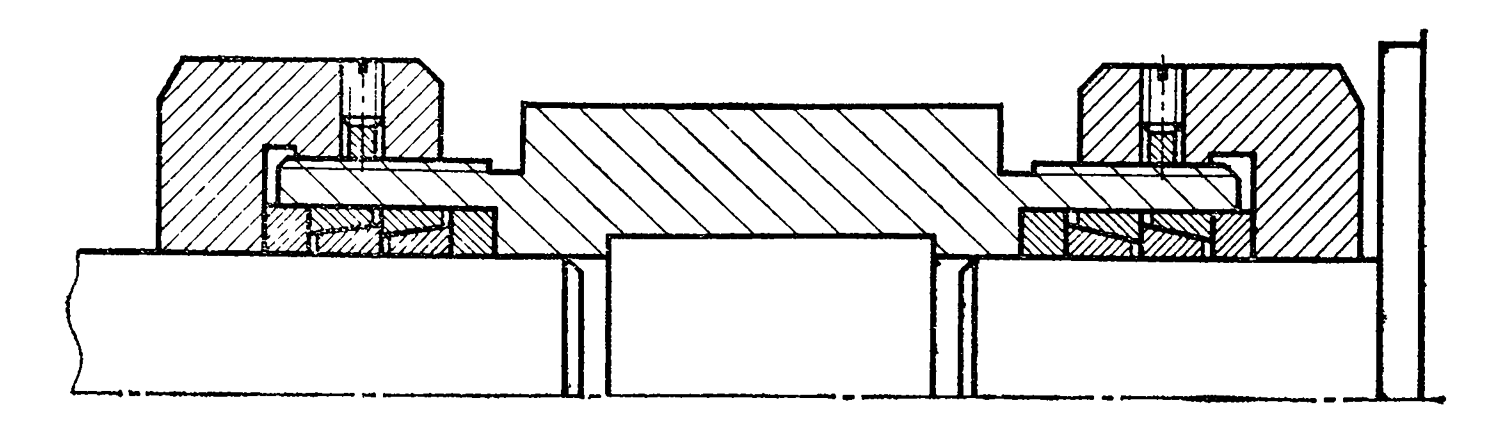


Рис. 57. Жесткая муфта для связи вала двигателя и ходового винта

§ 13. УПРУГИЕ МУФТЫ

Упругие муфты используют в приводах главного движения, подач и датчиков обратной связи. Упругие качества придают муфтам для того, чтобы погасить крутильные колебания, возникающие в различных динамических режимах работы привода, и компенсировать неточности взаимного расположения двух номинально соосных валов.

Таким образом, упругие муфты в своих конструкциях содержат упруго-демпфирующие и компенсирующие элементы. Причем для привода главного движения наиболее важной стороной в работе муфты является улучшение динамических характеристик привода за счет изменения его крутильной жесткости и увеличения демпфирующей способности. Для муфт, используемых в приводах подач и приводах датчиков обратной связи, наиболее важным является компенсация неточностей расположения связываемых муфтами валов (эксцентричности и угловых смещений). Крутильная жесткость этих муфт должна быть чрезвычайно высокой, так как в противном случае возникают ошибки в отсчете перемещений. Однако муфты должны иметь и некоторую угловую эластичность для снижения динамических воздействий на ведомые элементы при резком трогании с места.

Муфты с резиновыми упругими элементами, используемые в главных приводах станков с ЧПУ (рис. 58), компенсируют до-

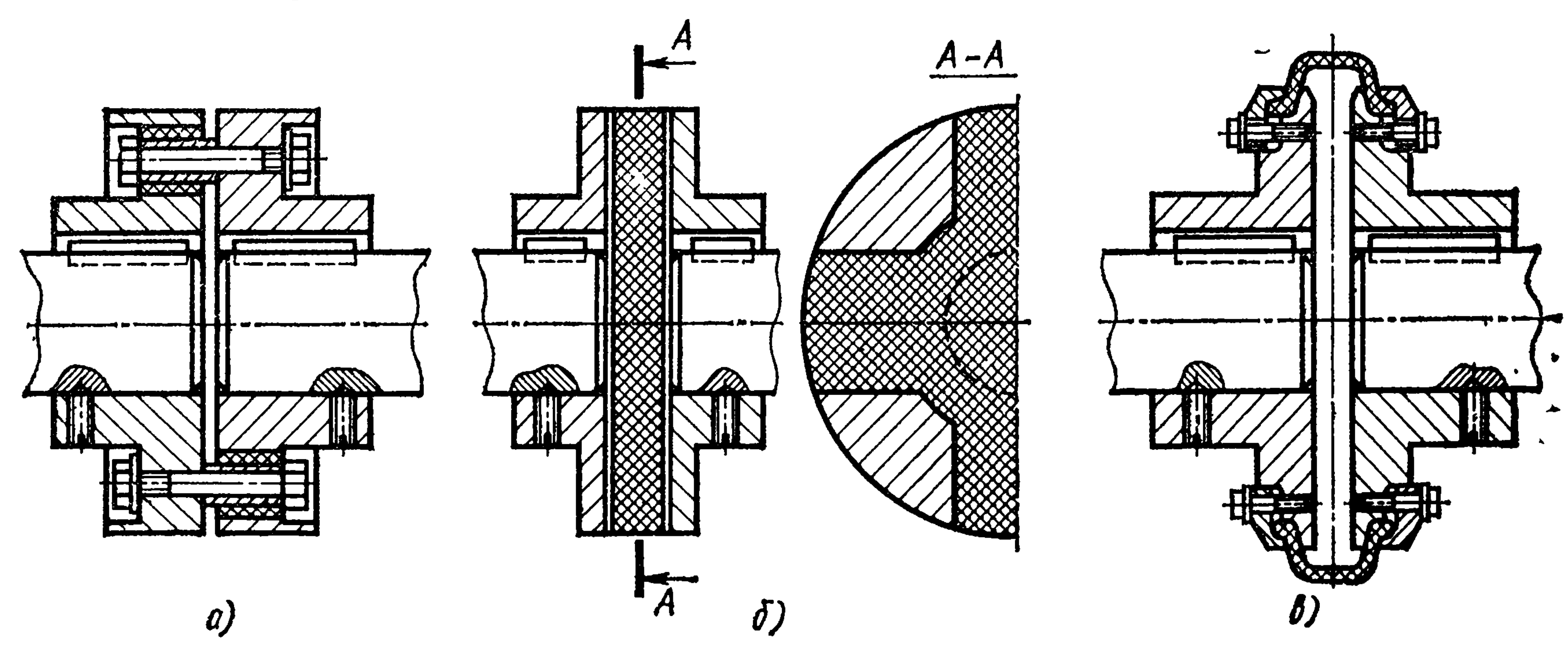


Рис. 58. Муфты с резиновыми упругими элементами:
а — втулочно-пальцевая; *б* — с резиновой звездочкой; *в* — шинная

вольно большие погрешности взаимного расположения соединяемых валов. Например, в наиболее универсальных с точки зрения требуемых характеристик муфтах со звездочкой (рис. 58, *б*) допустимый угол закручивания 5°, радиальная несоосность валов 0,2 мм, угол перекоса валов 1,5°, в шинных муфтах (рис. 58, *в*) — соответственно 2,5°; 0,5 мм; 2°.

Сильфоны из гофрированных тонкостенных металлических оболочек обладают хорошими компенсирующими характеристиками относительно эксцентричности расположения валов и их углового смещения. Изображенная на рис. 59, *а* упругая муфта передает максимальный крутящий момент 2,15 Н·м, допускает максимальную эксцентричность валов до 0,5 мм и максимальное угловое смещение до 2°. Эту муфту используют для приводов датчиков обратной связи типа вращающийся трансформатор (ВТ).

Более мощные упругие муфты-сильфоны передают крутящий момент в несколько сотен ньютонов на метр. Их применяют для соединения конца вала высокомоментного двигателя с концом ходового винта.

Для приводов датчиков обратной связи применяют также упругие муфты, компенсирующие только угловые погрешности (рис. 59, *б*). Муфта состоит из левой *1* и правой *4* втулок с упругими фланцами и промежуточной пластины *2*. Четыре заклепки *3* скрепляют фланцы левой и правой втулок с пластиной по взаимно перпендикулярным плоскостям.

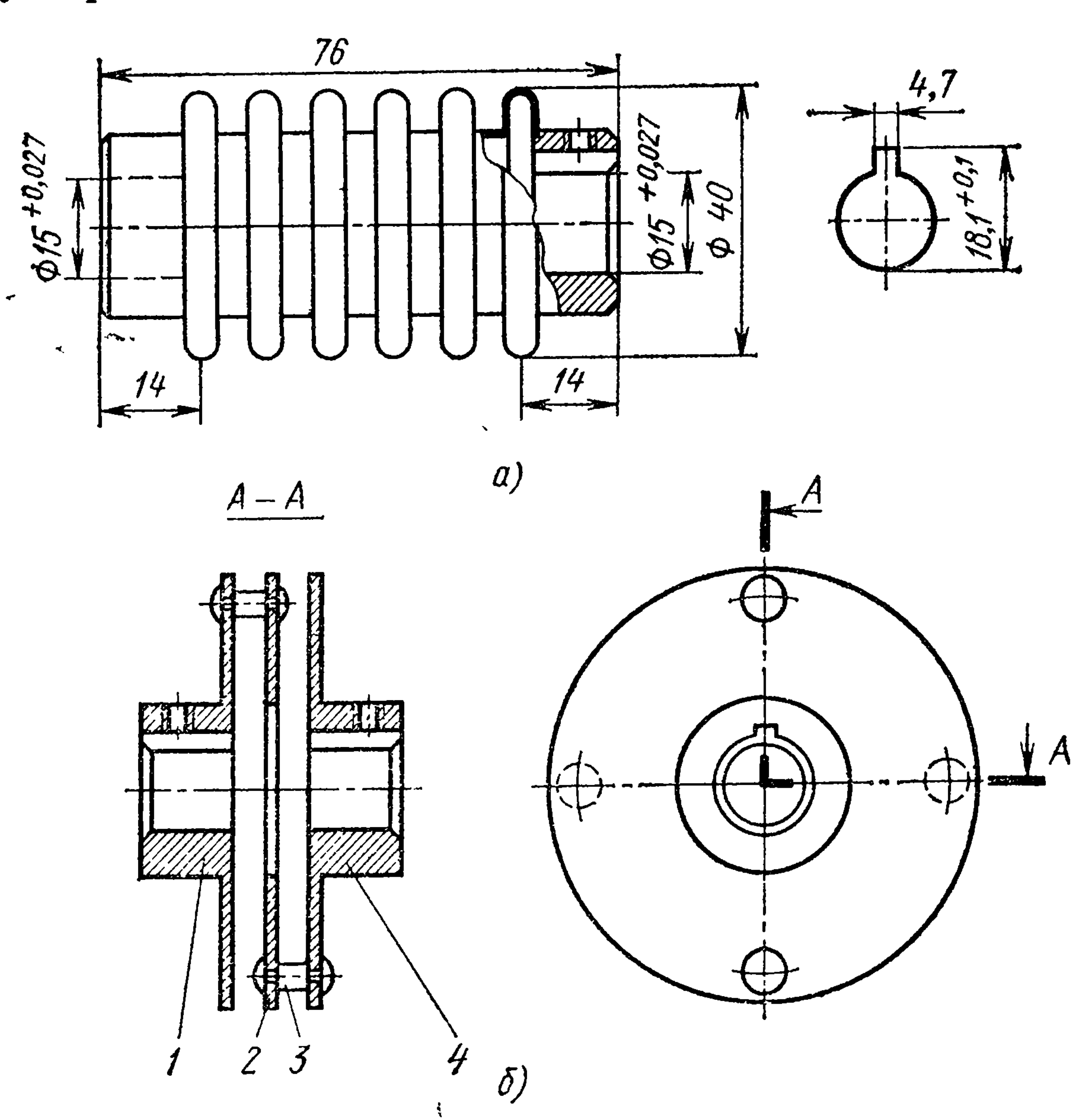


Рис. 59. Упругие металлические муфты:
а — типа сильфон; *б* — пластинчатая

§ 14. ОПОРЫ ХОДОВЫХ ВИНТОВ

Винтовые передачи должны обладать высокой жесткостью в осевом направлении. Жесткость обеспечивается как беззазорным исполнением пары винт — гайка, так и специальным конструктивным оформлением опор ходовых винтов. На рис. 60 представлены опоры ходового винта привода гайки *12* продольного перемещения станка.

В обеих опорах используют комбинированный подшипник, совмещающий в себе функции игольчатого радиального и двустороннего упорного роликового. Подшипник состоит из опорных колец *2* и *8*, роликов *3* и *7* в пластмассовых сепараторах, наружной обоймы *6* и иголок *5* в стальном сепараторе. В осевом направлении подшипник дуплексирован. При создании натяга в опоре гайкой *1* невозможно превысить ту величину, которую обеспечил завод-изготовитель, так как осевая нагрузка воспринимается кольцом *2*, роликами *3*, обоймой *4*, роликами *7*, кольцом *8*, промежуточной втулкой *9*, опорным буртом винта и одновременно внутренней обоймой *6*, ограничивающей сближение колец *2* и *8*. Смазка в опору подается через отверстие в обойме *4*.

Дополнительная особенность данной конструкции состоит в том, что затягивание гайки *11* при отпущенной гайке *10* приводит к растяжению ходового винта. Такое растяжение можно использовать для выпрямления оси винта, чтобы ликвидировать провисание его от действия сил тяжести и уменьшить радиальное биение винта. Кроме этого, повышается осевая жесткость винта. Следует учитывать, что чрезмерное растяжение может привести к возникновению положительной накопленной ошибки шага на всей длине винта. Усилие в 40 000 Н растягивает винтовую пару диаметром 50 мм и длиной 2000 мм на 22 мкм. Для станков, у которых устройство ЧПУ позволяет вводить компенсацию погрешностей ходовых винтов, растяжение винтов можно выполнять без опасения снизить точность станка.

Иногда операцию дуплексирования подшипников приходится выполнять станкостроительному предприятию или заводу, производящему ремонт станка. Рассмотрим опору винта (рис. 61),

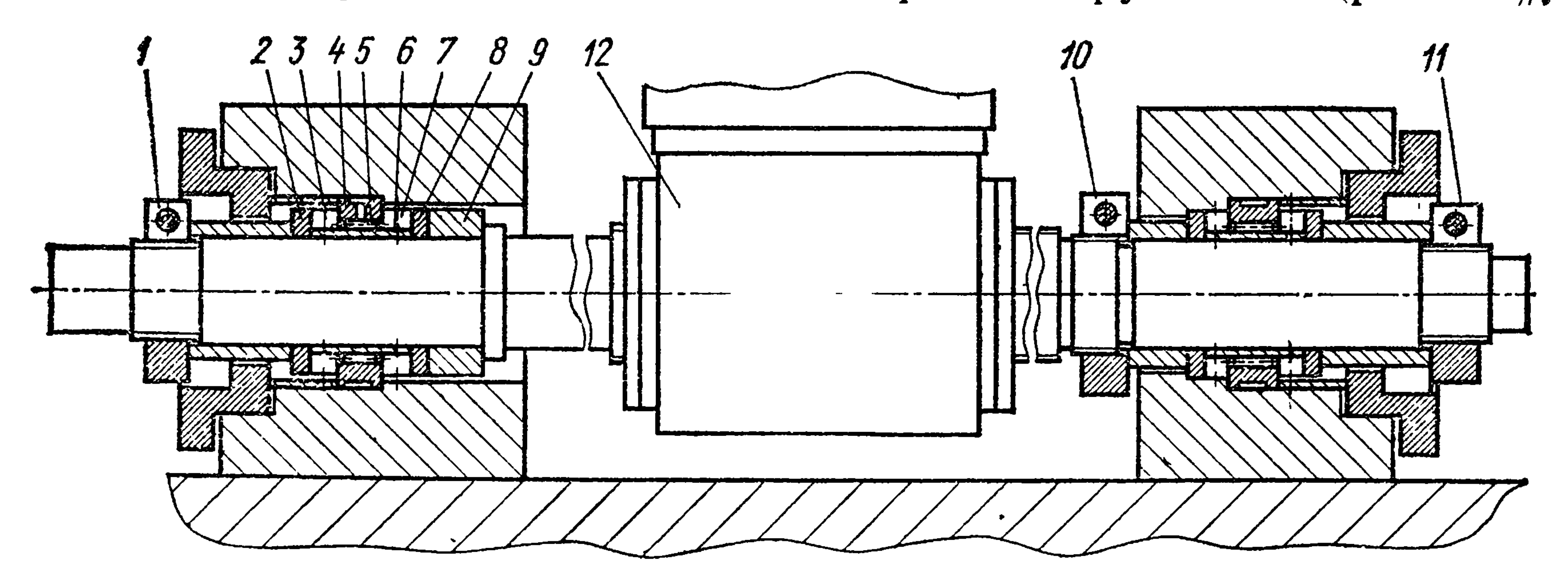


Рис. 60. Жесткие опоры с предварительным натягом ходового винта

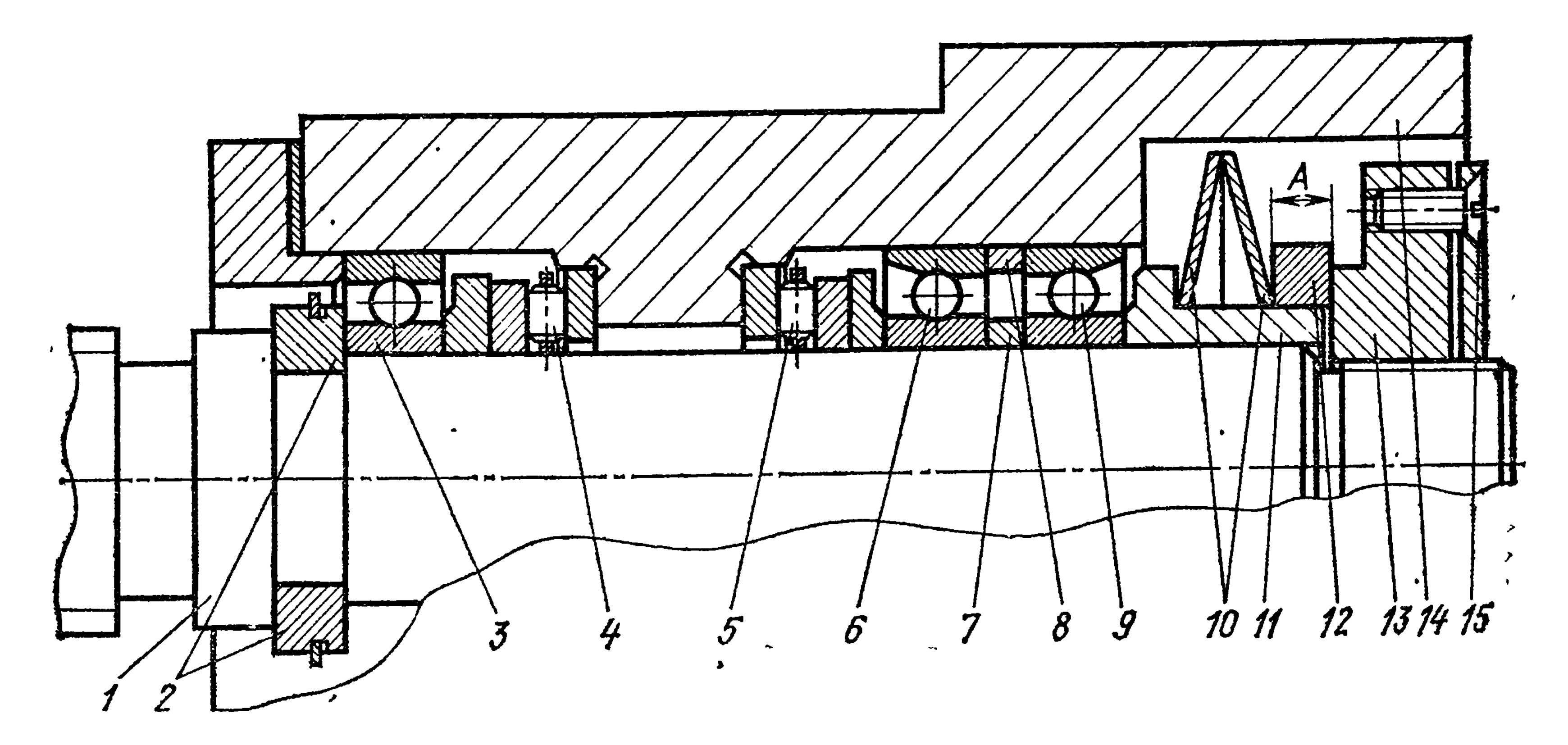
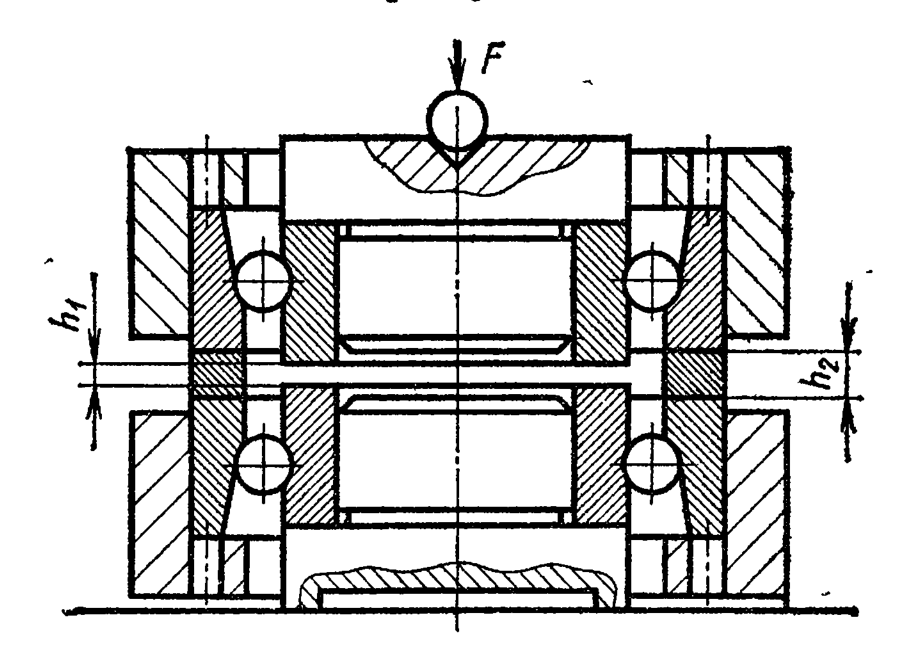
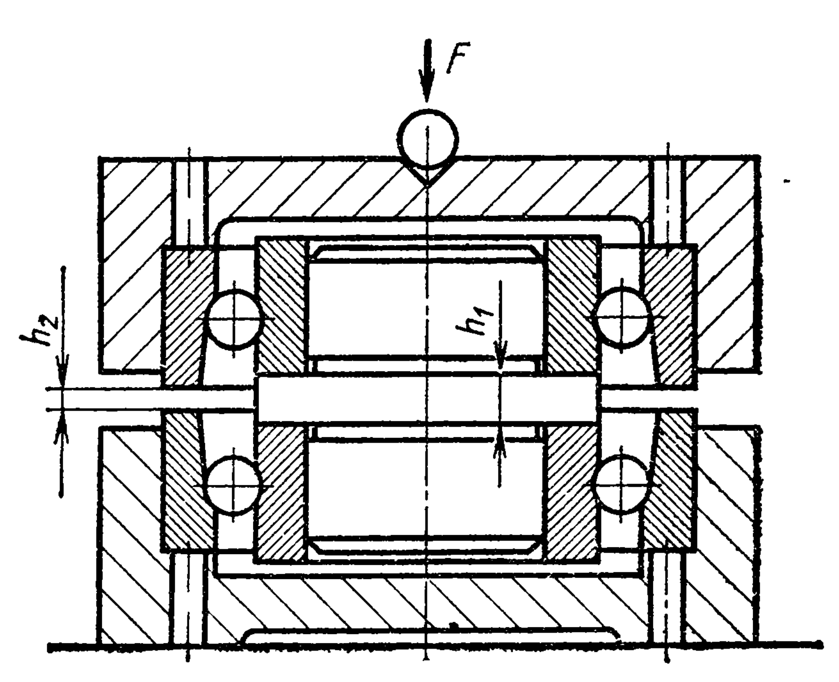


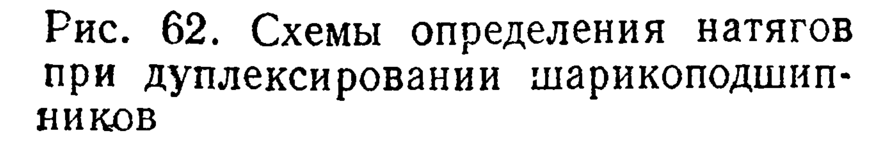
Рис. 61. Опора ходового винта

в которой используют радиальный шарикоподшипник *3*, два упорных роликовых шарикоподшипника *4* и *5* и два радиально-упорных подшипника *6* и *9*, натяг в которых создан за счет того, что длина дистанционной втулки *7* меньше на строго определенную величину длины втулки *8*.

Для облегчения регулировки осевого натяга в опоре между гайкой *13* и опорным буртом втулки *11* установлены тарельчатые пружины *10*. Заранее должны быть известны требуемая сила осевого натяга в опоре и величина осадки пружин δ под воздействием этой силы. Сборка опоры и регулирование осевого натяга осуществляются следующим образом. В паз ходового винта *1* вставляют два полукольца *2*, последовательно надевают на винт подшипники *3* и *4*, вводят винт в корпус опоры *14*, надевают второй упорный роликовый подшипник *5*, упорно-радиальные подшипники *6* и *9* с дистанционными втулками *7* и *8*, втулку *11* с тарельчатыми пружинами *10*. Не поставленными остаются только кольцо *12* и гайка *13*. Легким осевым поджимом ликвидируют осевые зазоры между всеми элемен-






Рис. 62. Схемы определения натягов при дуплексировании шарикоподшипников

тами размерной цепи. Измеряют расстояние между крайними (на рисунке правыми) торцами пружины и втулки *11*. К этому размеру *a* прибавляют 0,5 мм и величину осадки комплекта пружин δ, при которой достигается требуемая сила осевого натяга в опоре; получают $A = a + \delta + 0{,}5$. Торцы кольца *12* шлифуют для получения толщины его, равной *A*.

При окончательной сборке устанавливают все детали опоры, включая кольцо *12*, затягивают гайку *13* до соприкосновения с торцом втулки *11*, затем отпускают гайку на четверть оборота, что при шаге резьбы в 2,0 мм отводит ее на 0,5 мм от торца втулки и обеспечивает в опоре требуемый натяг. Гайку стопорят винтом *15*. Необходимый предварительный натяг в радиально-упорных подшипниках определяют при установке их с соответствующими посадками на оправки и во втулки. На рис. 62 показаны схемы выполнения дуплексирования при различных установках подшипников («спинка к спинке» и «лицом к лицу»). С помощью нагружающего устройства создают осевую нагрузку *F*, равную выбранному значению силы предварительного натяга. Искомая разница в высотах дистанционных втулок равна возникшей разнице размеров $h_1 - h_2$.

§ 15. РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

В приводах главного движения применяют обычно передачи с гибкой связью, осуществляемой ремнями различных видов. В табл. 28 приведены ориентировочные характеристики передач с гибкой связью.

Передачи ремнями сглаживают неравномерность вращения ведомого шкива и уменьшают амплитуду колебаний, возникающих в нем. Более подробно рассмотрим два вида ремней: поликлиновой и зубчатый.

Поликлиновой ремень (рис. 63, *a*) представляет собой ряд бесконечных резиновых рабочих поверхностей треугольной формы, расположенных на одной ленте, выполненной из нескольких слоев резины. Наружная поверхность *1* покрыта прорезиненной тканью. В плоской части ремня по винтовой линии расположен несущий слой *2* из кордового шнура, изготовленного из лавсана,

28. Характеристика передач с гибкой связью

Вид приводного ремня	Наибольшая скорость ремня, м/с	Наибольшее передаточное число	Наибольший КПД, %
Плоский синтетический	75	6	98
Клиновой на синтетической основе:			
обычный	30	6	95
узкий	40	6	95
широкий	30	6	95
Поликлиновой	40	8	98
Зубчатый	60	12	97

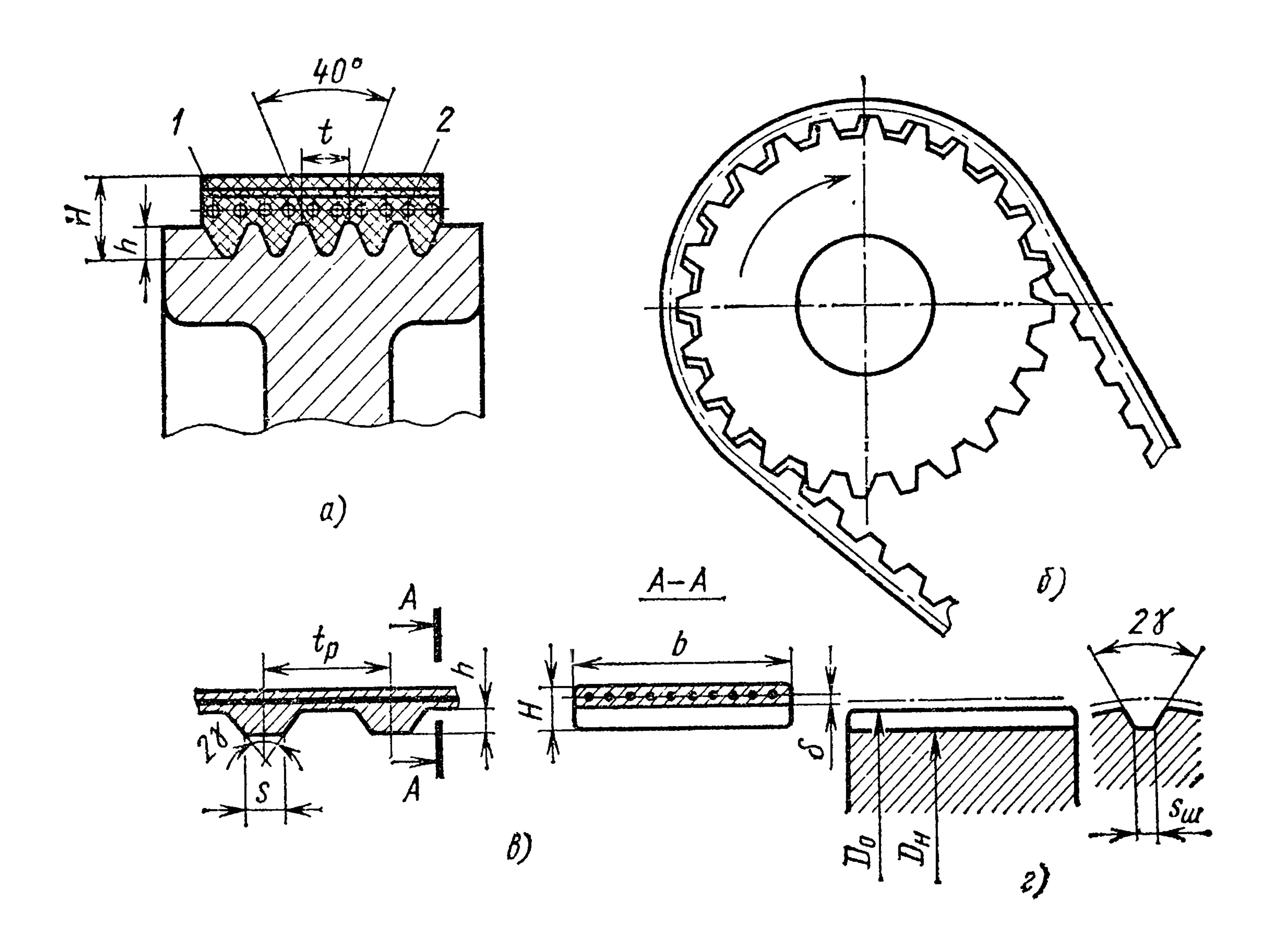


Рис. 63. Передачи с гибкой связью:

а — поликлиновой ремень; *б, в* — зубчатый ремень

вискозы, стекловолокна и др. Выпускают ремни трех сечений: К, Л и М (табл. 29).

Передачи с зубчатым ремнем передают крутящий момент в результате зацепления зубьев ремня с зубьями шкива (рис. 63, *б*). В станках с ЧПУ зубчатые ремни применяют не только в приводах главного движения, но и в приводах подач. Например, ремень может связывать высокомоментный двигатель с ходовым винтом, на одном из концов которого размещен датчик обратной связи.

Зубчатый ремень представляет собой бесконечную ленту с зубьями на внутренней поверхности. Он состоит из несущего элемента — стального каната диаметром до 0,8 мм, расположенного в нейтральном слое ремня, и эластичного связующего материала — резины или пластмассы. Слой резины или пластмассы предохраняет канат от коррозии и исключает непосредственный контакт его с зубьями шкива.

29. Размеры поликлиновых ремней

Сечение ремня	*t*, мм	*H*, мм	*h*, мм	Число ребер
К	2,4	4,0	2,35	2—36
Л	4,8	9,5	4,85	4—20
М	9,5	16,7	10,35	4—20

Канат передает рабочее усилие и обеспечивает высокую продольную жесткость, необходимую для правильного распределения нагрузки между зубьями. Основным параметром зацепления ремня со шкивом является модуль m.

В табл. 30 указаны основные размеры зубчатых ремней (см. рис. 63).

Ширину ремня b выбирают по табл. 31.

Шкивы (рис. 63, *г*) представляют собой зубчатые колеса с заниженным наружным диаметром $D_н$ ($D_0 = mz$, где z — число зубьев шкива). Зубья шкива имеют прямоугольный профиль. Зубья ремня находятся во впадине зубьев шкива с боковыми и радиальными зазорами $s_ш > s$. Для устранения сбегания ремня меньший шкив изготовляют с фланцами с двух сторон, больший шкив в вертикальных передачах выполняют без фланцев, а в горизонтальных — с одним фланцем с нижней стороны. При больших передаточных числах, малых нагрузках и в случаях, когда скольжение не имеет практического значения, иногда больший

30. Размеры зубчатых ремней, мм
(рис. 63, *в*)

m	$t_р = \pi m$	h	H	s	δ	γ, °
1,0	3,14	0,8	7,6	1,0	0,4	50
1,5	4,71	1,2	2,2	1,5	0,4	50
2,0	6,28	1,5	3,0	1,8	0,6	50
3,0	9,42	2,0	4,0	3,2	0,6	40
4,0	12,57	2,5	5,0	4,4	0,8	40
5,0	15,71	3,5	6,5	5,0	0,8	40
7,0	21,99	6,0	11,0	8,0	0,8	40
10,0	31,42	9,0	15,0	12,0	0,8	40

31. Ширина ремня *b*, мм

Ширина b	Модуль m							
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0
3—4	+	+	—	—	—	—	—	—
5 и 8	+	+	+	—	—	—	—	—
10	+	+	+	—	—	—	—	—
12,5	+	+	+	+	—	—	—	—
16	—	+	+	+	—	—	—	—
20	—	+	+	+	+	—	—	—
25 и 32	—	—	—	+	+	+	—	—
40	—	—	—	+	+	+	+	—
50	—	—	—	+	+	+	+	+
63, 80 и 100	—	—	—	—	+	+	+	+
125	—	—	—	—	—	—	+	+
160 и 200	—	—	—	—	—	—	—	+

шкив передачи для упрощения его изготовления выполняют гладким.

Зубчатый ремень следует устанавливать на шкивы свободно, без резких изгибов. Натяжение необходимо производить после установки ремня на шкивы. Перед пуском новой передачи необходимо проверить зацепление зубьев ремня с зубьями шкива поворотом передачи вручную. Если шаг зубьев рассчитан и выполнен правильно, то передача будет работать плавно, без рывков. Набегание зубьев ремня на зубья шкива не допускается. Сбегание ремня со шкива указывает на непараллельность осей валов, которая не должна превышать $\pm 3'$.

Глава VIII

РАСЧЕТ МЕХАНИЗМОВ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

§ 1. НАПРАВЛЯЮЩИЕ КАЧЕНИЯ С РОЛИКОВЫМИ ОПОРАМИ (С ЗАМКНУТОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ)

Методика расчета роликовых опор [10] сводится к составлению схемы нагружения механизмов, вычислению рабочих нагрузок от воздействия сил резания, тяжести и привода, определению нагрузок на опорах и подбору типоразмера и числа опор.

На рис. 64 изображены фреза *4*, заготовка *3*, станина *6* и стол *7*, имеющие замкнутые направляющие качения с шестью парами роликовых опор.

Три опоры *1*, *2* и *5* по две штуки установлены жестко вдоль стола, а пары опор *1'*, *2'* и *5'*, расположенные им навстречу, снабжены регулировочными устройствами. Активные силы (составляющие силы резания P_X, P_Y и P_Z, воздействующие на заготовку, тяговая сила привода подач T и сила тяжести N заготовки и стола) можно привести к трем моментам M_X, M_Y и M_Z и трем силам Q_X, Q_Y, Q_Z, направленным по осям координат. Для упрощения расчетных формул координатные оси Y и Z расположены в плоскостях, проходящих через середины опор *1* и *2*, направления координатных осей приняты произвольными; O_1 — точка приложения силы тяжести $N = Mg$, где M — масса подвижных органов вместе с заготовкой, g — ускорение свободного падения.

$$Q_X = T - P_X; \quad Q_Y = P_Y; \quad Q_Z = P_Z + Mg;$$

$$M_X = P_Y h + P_Z e_1 + Mge_2;$$

$$M_Y = P_X h + P_Z l_1 - Th_1 + Mgl_2;$$

$$M_Z = P_Y l_1 + Te_3 - P_X e_1.$$

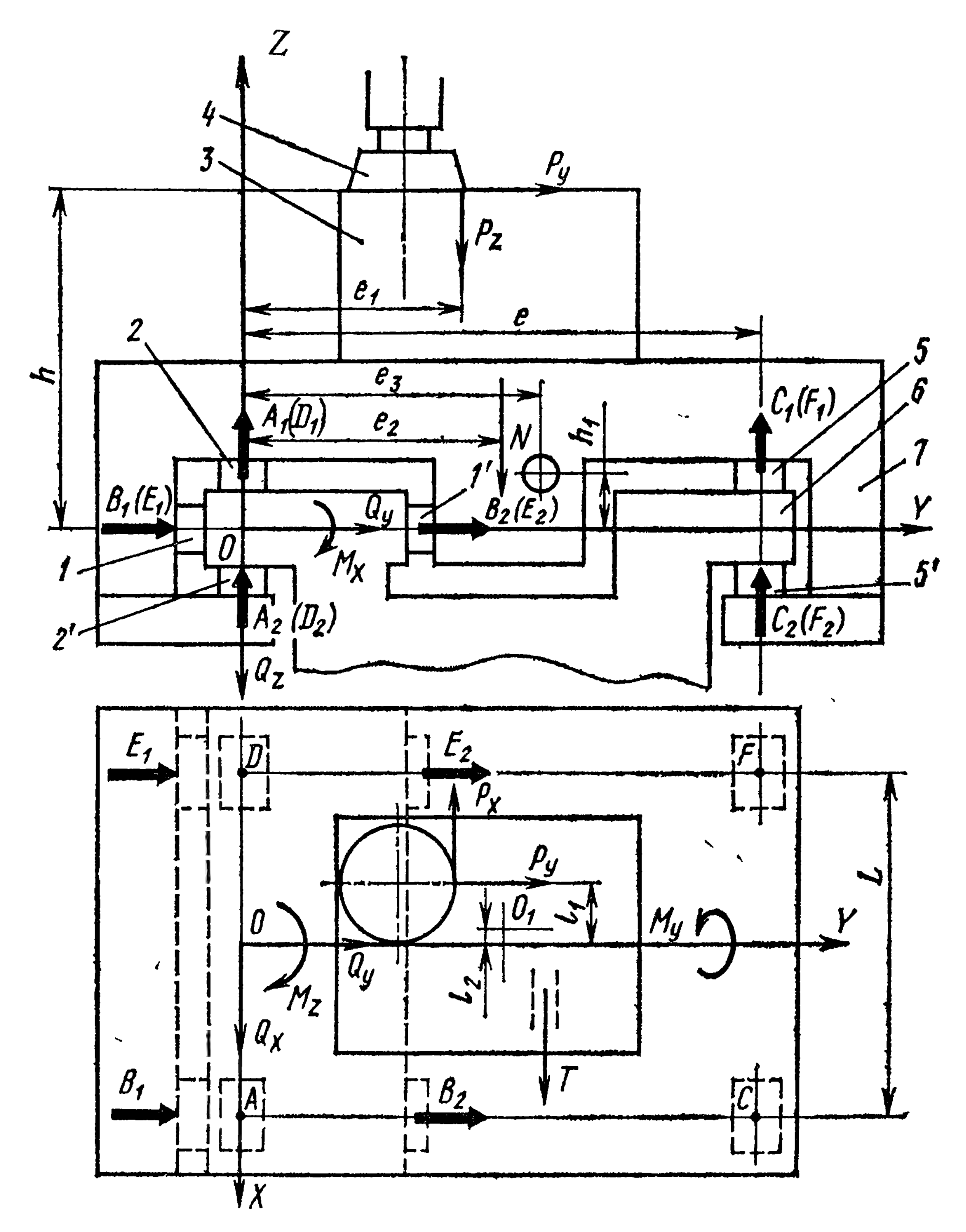


Рис. 64. Схема нагрузки на направляющие качения

Из условия равновесия узла определены нагрузки A, B, C, D, E, F, приходящиеся на каждую пару встречно расположенных опор (первоначальное направление этих нагрузок выбрано произвольно):

$$A = -\frac{Q_Z}{2} + \frac{M_Y}{2L}; \quad B = \frac{Q_Y}{2} - \frac{M_Z}{L};$$

$$C = -\frac{M_X}{2e} + \frac{M_Y}{2L}; \quad D = -\frac{Q_Z}{2} - \frac{M_Y}{2L};$$

$$E = \frac{Q_Y}{2} + \frac{M_Z}{L}; \quad F = -\frac{M_X}{2e} - \frac{M_Y}{2L};$$

$$A = A_1 + A_2; \quad B = B_1 + B_2; \quad C = C_1 + C_2;$$

$$D = D_1 + D_2; \quad E = E_1 + E_2; \quad F = F_1 + F_2.$$

Рассмотрим распределение нагрузок между парой встречно расположенных опор (рис. 65). В каждой паре одна опора *1* закреплена в корпусе неподвижно, а другая *3* связана с регулиро-

вочным устройством *4* и в процессе монтажа для создания предварительного натяга может перемещаться вдоль оси Z. До приложения внешней нагрузки A в каждой опоре действует внутренняя (для конструкции в целом) сила предварительного натяга $P_н$, образованная с помощью регулировочного устройства *4*.

При нагружении внешней силой A пары опор, встречно расположенных по обе стороны подвижного органа *2*, нагрузка на одну опору возрастает, а на другую уменьшается. Роликовые опоры *1*, *3* и регулировочное устройство *4* можно рассматривать как пружины соответствующей жесткости, где j_1 — жесткость опоры *1*; j_2 — жесткость опоры *3* с регулировочным устройством *4*.

Для такой схемы справедливо $A = A_1 + A_2$, где A_1 — сила, воспринимаемая неподвижной опорой *1*; A_2 — сила, воспринимаемая опорой *3* с регулировочным устройством *4*. Из условия равенства упругих перемещений δ в местах контакта с обеими опорами имеем $\delta = A/j$, где $j = j_1 + j_2$; $A_1 = A\varepsilon$ и $A_2 = A(1 - \varepsilon)$.

Коэффициент распределения нагрузки $\varepsilon = \frac{j_1}{j_1 + j_2}$ получают экспериментально по замерам жесткости опор или расчетом. Можно принять следующие значения коэффициента ε: для регулировочных устройств с тарельчатыми пружинами $\varepsilon = 0{,}95$, с винтом и шаровой опорой $\varepsilon = 0{,}6$, с клиньями $\varepsilon = 0{,}5$. Внешняя нагрузка распределяется между противоположно расположенными опорами пропорционально их жесткости.

Суммарная нагрузка на опоры с учетом силы предварительного натяга равна соответственно $P_н + A_1$ и $P_н + A_2$ (при направлении силы A, показанном на рис. 65, *б*). Чтобы при нагружении в направляющих не образовался зазор, необходимо соблюдать условия $P_н > A_2$. Формулы расчета нагрузок на опоры приведены в табл. 32.

После определения суммарной нагрузки на каждую опору по нагрузочной способности (см. табл. 21) выбирают типоразмер и число опор. Кроме расчета каждой из опор по нагрузочной способности (статической прочности) следует проверить долговечность опоры на контактную выносливость. Допускаемая нагрузка по расчету на контактную выносливость $P_{доп} = P_{баз}K_S$, где $P_{баз}$ — базовая нагрузка, соответствующая пределу выносливости и вызывающая усталостное разрушение при базовом

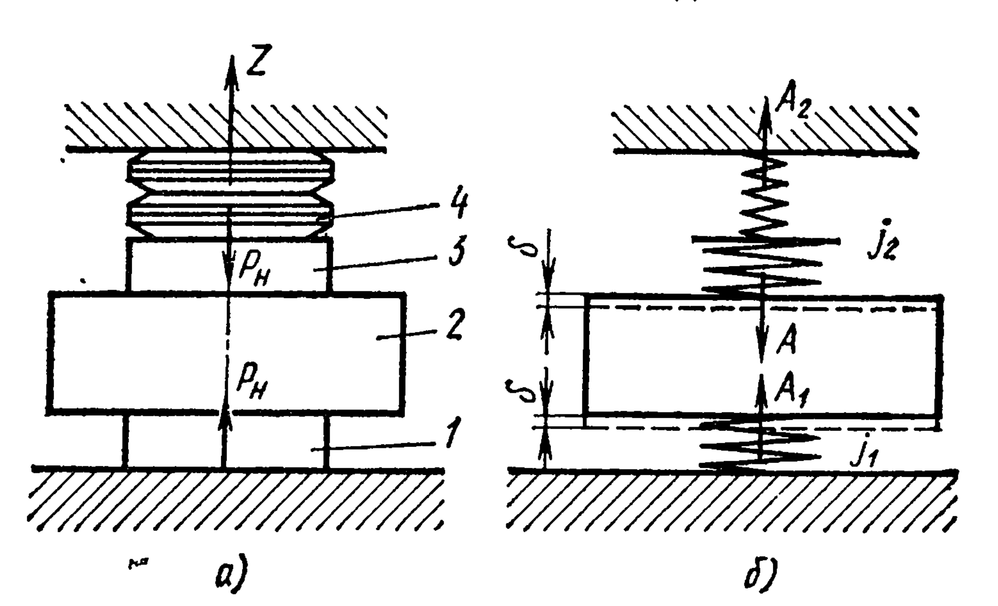
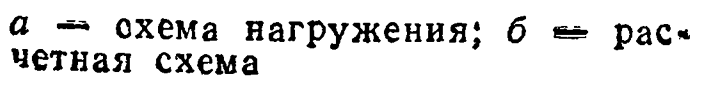


Рис. 65. Распределение нагрузки между опорами и регулировочным устройством:


а — схема нагружения; *б* — расчетная схема

32. Формулы для расчета нагрузок

Нагрузка	Опоры (см. рис. 64)					
	1	1'	2	2'	5	5'
Внешняя на опору	$B\varepsilon$ $E\varepsilon$	$B(1-\varepsilon)$ $E(1-\varepsilon)$	$A\varepsilon$ $D\varepsilon$	$A(1-\varepsilon)$ $D(1-\varepsilon)$	$C\varepsilon$ $F\varepsilon$	$C(1-\varepsilon)$ $F(1-\varepsilon)$
Суммарная в опоре	$P_н+B\varepsilon$	$P_н-B(1-\varepsilon)$	$P_н+A\varepsilon$	$P_н-A(1-\varepsilon)$	$P_н+C\varepsilon$	$P_н-C(1-\varepsilon)$
С учетом силы предварительного натяга $P_н$	$P_н+E\varepsilon$	$P_н-E(1-\varepsilon)$	$P_н+D\varepsilon$	$P_н-D(1-\varepsilon)$	$P_н+F\varepsilon$	$P_н-F(1-\varepsilon)$

пути опоры $S_{баз}$; K_S — коэффициент, учитывающий длину пути.

Базовую нагрузку $P_{баз}$ при базовом пути $S_{баз} = 250$ км, исходя из контактной выносливости назначают в зависимости от типоразмера опоры:

Типоразмер опоры Р88 . .	Р88-101	Р88У-101	Р88Ш-101	Р88-102
$P_{баз}$, Н	31 000	19 000	37 000	55 000
Типоразмер опоры Р88 . .	Р88У-102	Р88Ш-102	Р88-103	
$P_{баз}$, Н	38 000	63 000	110 000	

Значения K_S выбирают в зависимости от расчетного пути S:

S, км	100	150	200	250	500	1000	1500	2500	5000
K_S	1,3	1,2	1,05	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

При длине пути подвижного органа, меньшей 250 км, допускаемая нагрузка лимитируется статической прочностью, при большей длине необходимо выбирать опоры по контактной выносливости.

При расчете опор следует выбирать минимальную величину предварительного натяга в направляющих. Не следует создавать большой предварительный натяг, так как это приводит к уменьшению допускаемых внешних нагрузок, возрастанию силы тяги и снижению долговечности опор. В то же время натяг должен предотвратить образование зазора при внешнем нагружении узла.

Минимальную величину натяга $\delta_н$, мкм, определяют из условия $\delta_н \geqslant \delta_0 + \frac{P}{j}$. Сила предварительного натяга $P_н = (\delta_н - \delta_0)\, j_{оп}$, где δ_0 — «начальная» деформация (см. рис. 45 и табл. 22); P — нагрузка от силы резания на пару встречно расположенных опор (A, B, C, ..., F); j — суммарная жесткость двух встречно расположенных опор совместно с регулировочным устройством; $j_{оп}$ — жесткость одной опоры.

§ 2. ВЫБОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МУФТ

При выборе электромагнитных муфт необходимо произвести оценку статического (передаваемого) и динамического (вращающего) моментов, времени разгона и торможения.

Максимальное значение приведенного статического момента нагрузки на муфту $M_{ст. max}$ должно быть меньше номинального момента $M_н$ муфты: $KM_{ст. max} < M_н$, где $K = 1,1 \div 1,6$ (меньшие значения берут при более плавном изменении нагрузки.

Приведенный момент трогания $M_{трог}$ механизма должен быть меньше вращающего момента $M_в$ муфты: $M_{трог} \leqslant M_в$.

Время разгона механизма до частоты вращения n

$$t_р = \frac{mD^2n}{38,2\,(0,9M_в - M_{ст})},$$

где m — приведенная масса механизма; m — приведенный диаметр инерции.

Произведение mD^2, отражающее приведенный момент механизма, подсчитывают по формуле

$$mD^2 = \frac{\sum m_i D_i^2 n_i^2}{n},$$

где m_i — масса каждого отдельного элемента механизма, вращающегося с частотой n_i при достижении выходным звеном механизма частоты n; D_i — диаметр инерции каждого отдельного элемента механизма.

Время торможения от частоты n до нуля

$$t_т = \frac{mD^2n}{38,2\,(0,9M_в + M_{ст})}.$$

Время реверса от частоты вращения $+n$ до $-n$

$$t_{рев} = t_р + t_т.$$

Время разгона механизма от частоты вращения n_1 до частоты n_2

$$t_р = \frac{mD^2\,(n_2 - n_1)}{38,2\,(0,9M_в - M_{ст})}.$$

Следует выбирать муфту, значение $M_в$ которой обеспечивает необходимые для данного механизма величины $t_р$, $t_т$, $t_{рев}$.

§ 3. ПЛОСКИЕ МУФТЫ С ПРЯМЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчет муфт с плоскими зубчатыми венцами сводится к выбору конструктивных параметров зубчатых венцов и определению оптимальной силы затяжки двух полумуфт исходя из условий жесткости.

Наружный диаметр муфты D_e (см. рис. 54) выбирают из конструктивных соображений максимальным для обеспечения устой-

чивого положения поворотной части револьверной головки или стола станка. Число зубьев z венцов муфты следует выбирать таким, чтобы можно было обеспечить деление на необходимое число позиций. Так, в токарных станках некоторых моделей муфты с 96 зубьями используют в четырех-, шести-, восьми- и 12-позиционных револьверных головках, а в многооперационных станках с помощью муфт с 72 зубьями позиционируют стол через каждые 5 градусов.

Параметры	Расчетная формула
Модуль зубьев, мм	$m = \frac{D_e}{z}$
Рабочая высота зуба, мм	$h_р = 1{,}4m$
Средний радиус венца, мм	$R_{ср} = k_R m$
Длина зуба (ширина венца), мм	$b = k_в m$
Коэффициенты	$k_R = 35 \div 45$; $k_в = 6 \div 8$
Наружный диаметр, мм	$D_e = 2R_{ср} + b$
Половина угла профиля	$\alpha = 20 \div 30°$
Площадь проекции стыка, мм^2	$F_Q = bh_р z \operatorname{tg} \alpha$
Осевой момент инерции площади стыка, мм^4 . .	$I_Q = F_Q \frac{R^2_{ср}}{2}$

Модуль зубьев m округляют до 0,5 мм в большую сторону

Оптимальной следует признать такую силу затяжки полумуфт $P_{з.опт}$, при которой обеспечивается требуемая жесткость, а дальнейшее увеличение силы незначительно повышает жесткость (рис. 66). При затяжке муфты на боковых поверхностях зубьев образуется равномерный натяг с равномерным удельным давлением. При приложении нагрузок, действующих не по центру стола или револьверной головки, удельные давления в стыке перераспределяются и становятся неравномерными. Контактная жесткость стыка останется достаточно высокой, если давление ни в одной из точек стыка не упадет ниже некоторого минимально допустимого значения. Так как длина зуба колеса (ширина венца) по сравнению с диаметром мала, давление на наружном и внутреннем диаметрах будет незначительно различаться. Поэтому расчет можно выполнять относительно точки, лежащей на среднем радиусе зубчатого венца. Практика показывает, что минимально допустимое давление на среднем радиусе не должно падать ниже 1,0 МПа.

Условная площадка стыка двух полумуфт (рис. 66, *а*) представляет собой кольцо Q. На верхнюю подвижную полумуфту после затяжки действуют следующие активные силы: $P_з$ — сила затяжки и P_X, P_Y, P_Z — составляющие силы резания, приложенные внецентрально в точке R с координатами x_r, y_r, z_r.

Расположим начало координат в центре кольца в точке O, а координатную плоскость XY совместим с плоскостью Q. Поскольку встречаются станки с осью поворота по любой из осей, обозначение и направление осей координат на рис. 66 приняты произвольно.

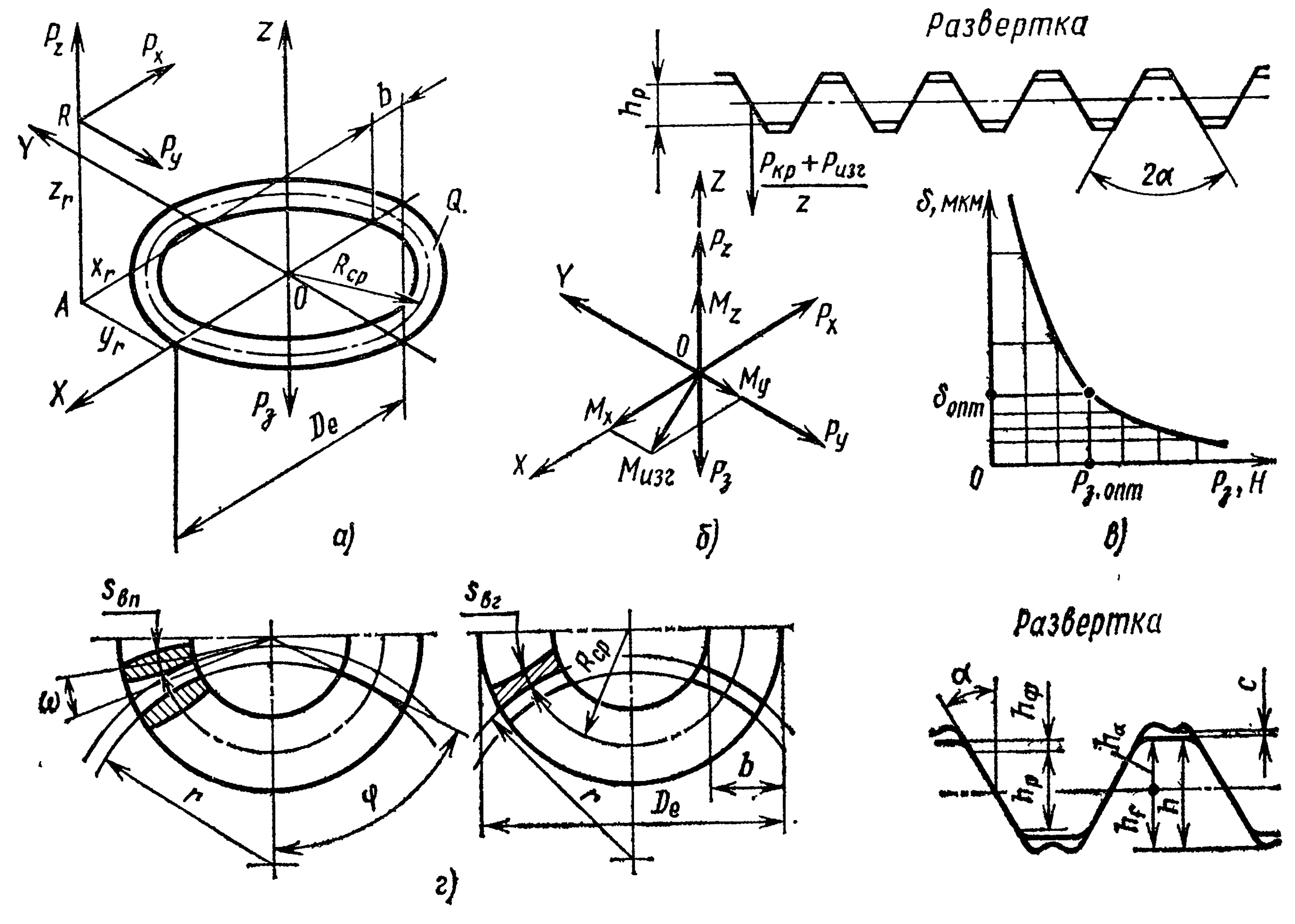


Рис. 66. Схема нагружения и параметры зубчатых муфт:

а — схема нагружения стыка муфты с прямыми зубьями; *б* — схема действия сил и моментов; *в* — зависимость смещений подвижной полумуфты от силы затяжки; *г* — параметры муфты с круговыми зубьями

При переносе составляющих сил резания в точку *О* (рис. 66, *б*) выявляется воздействие на площадку стыка трех сил: P_X, P_Y и P_Z и трех моментов:

$$M_X = P_Y z_r + P_Z y_r; \quad (1)$$

$$M_Y = -P_X z_r - P_Z x_r; \quad (2)$$

$$M_Z = P_X y_r - P_Y x_r. \quad (3)$$

Силы $P_з$, P_Z и момент M_Z, изменяя номинальное давление σ в стыке, не нарушают равномерности его распределения. Моменты M_X и M_Y образуют суммарный изгибающий момент $M_{изг}$, который перераспределит давления в стыке: $M_{изг} = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}$. Минимальное давление будет иметь место в плоскости действия момента $M_{изг}$ на менее нагруженной стороне кольца.

Давление в точке стыка, расположенной на среднем радиусе $R_{ср}$ зависит от действия трех составляющих: осевых сил $P_з$ и P_Z (создают равномерное давление в стыке); изгибающего момента $M_{изг}$ (увеличивает давление на одной стороне кольца и уменьшает на другой); вращающего момента M_Z (увеличивает давление на одной стороне зуба и уменьшает на другой). Обозначив соответ-

ственно через σ_1, σ_2 и σ_3 составляющие давлений от каждого из перечисленных воздействий, получим

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3;$$

$$\sigma_{min} = \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3;$$

$$\sigma_1 = \frac{P_з - P_Z}{F_Q};$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{изг}}{I_Q} R_{ср} = \frac{2M_{изг}}{F_Q R_{ср}};$$

$$\sigma_3 = \frac{|M_Z| \operatorname{tg} \alpha}{F_Q R_{ср}}.$$

Подставив значение $M_{изг}$ и I_Q, получим

$$\sigma_{min} = \frac{P_з - P_Z}{F_Q} - \frac{2\sqrt{M_X^2 + M_Y^2}}{F_Q R_{ср}} - \frac{|M_Z| \operatorname{tg} \alpha}{F_Q R_{ср}}.$$

Для расчета используют формулу

$$P_з \geqslant [\sigma_{min}] F_Q + P_Z + \frac{2\sqrt{M_X^2 + M_Y^2} + |M_Z| \operatorname{tg} \alpha}{R_{ср}}, \qquad (4)$$

где $[\sigma_{min}]$ = 1МПа(1,0Н/мм^2) — минимально допускаемое давление в стыке при условии сохранения стыком необходимой жесткости.

Практически сила затяжки полумуфт в станках составляет 30 000—60 000 Н.

При расчете муфт на прочность необходимо сравнить максимальные давления σ_{max} с допускаемыми напряжениями смятия, значения которых $[\sigma_{см}]$ приведены в следующем параграфе.

§ 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛОСКИХ МУФТ С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ

Расчет муфт с круговыми зубьями на прочность выполняют по следующей схеме.

1. Наружный диаметр D_e (рис. 66, *г*) определяют предварительно по формуле

$$D_e \geqslant 100 \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{8{,}75\,[\sigma]}}, \qquad (5)$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент нагрузки, приведенный к оси полумуфты, Н·м; $[\sigma]$ — допускаемое значение сопротивления разрыву, МПа.

Для конструкционной стали 40Х, закаленной до твердости *HRC* 48—50, $[\sigma]$ = 1000 МПа, и формула (5) принимает следующий вид:

$$D_e \geqslant 5 \sqrt[3]{M_{кр}}.$$

2. Число зубьев муфты выбирают из условий обеспечения требуемого числа позиций.

3. Уточняют геометрические параметры муфты. Угол профиля $\alpha = 20°$ позволяет при небольшой доработке использовать для нарезания стандартные резцы.

Параметр, мм	Расчетная формула
Модуль	$m = \frac{D_e}{z}$
Высота зуба	$h = 0,88m$
Зазор между головкой и ножкой	$c = 0,1m$
Высота фаски	$h_ф = 0,09m$
Рабочая высота зуба	$h_р = h - c - 2h_ф = 0,5m$
Высота головки	$h_a = 0,5\,(h - c) = 0,34m$
Высота ножки	$h_f = h - h_a = 0,54m$
Ширина венца	$b \leqslant 0,125D_e$
Средний радиус муфты	$R_{ср} = 0,5\,(D_e - b)$
Радиус продольной кривизны	$r \approx 2R_{ср}$
Толщина выпуклого зуба	$s_{вп} = \frac{\pi R_{ср}}{z} + \frac{b^2}{12r}$
Толщина вогнутого зуба	$s_{вг} = \frac{\pi R_{ср}}{z} - \frac{b^2}{12r}$

Толщина зуба, подсчитанная по данным формулам, обеспечивает равную прочность сопряженных зубьев полумуфт. Подсчитанный предварительно по формуле $r = 2R_{ср}$ радиус продольной кривизны зуба должен быть уточнен путем подсчета по формуле $r = R_{ср}\,\mathrm{tg}\,\varphi$, где φ — половина угла охвата инструментом зубьев муфты: $\varphi = 90° \frac{z_\varphi}{z}$; z_φ — целое число охваченных инструментом угловых полушагов ω $\left(2\omega = \frac{2\pi}{z}\right.$ — угловой шаг, здесь z — число зубьев муфты$\left.\right)$.

Поверочные расчеты муфт заключаются в нахождении напряжений на срез $\sigma_{ср}$ и на смятие $\sigma_{см}$ и сравнении их с допускаемыми значениями

Параметр	Расчетная формула	
Наибольший передаваемый крутящий момент, Н·м	$M_{кр} = 7 \cdot 10^{-5} D_e b \sigma$	(6)
Осевая сила, возникающая под действием крутящего момента, Н	$P_{кр} = \frac{1000 M_{кр}\,\mathrm{tg}\,\alpha}{R_{ср}}$	(7)
Осевая сила, возникающая под действием изгибающего момента, Н	$P_{изг} = \frac{1200 M_{изг} D_e}{R_{ср}^2}$	(8)
Осевая сила, возникающая под действием внешних нагрузок	$P_{вн}$ зависит от схемы нагружения муфты	
Суммарная сила, необходимая для затяжки муфты, Н	$P_з = 2\,(P_{кр} + P_{изг} + P_{вн})$	(9)
Напряжение на срез зубьев, МПа	$\sigma_{ср} = \frac{1000 M_{кр}}{\pi b R_{ср}^2}$	(10)
Напряжение $\sigma_{см}$ на смятие зубьев, МПа	$\sigma_{см} = \frac{1}{z b h_р}\left(\frac{P_з}{2\,\mathrm{tg}\,\alpha} + \frac{1000 M_{кр}}{R_{ср}}\right)$	(11)

Ниже приведены допускаемые значения напряжений.

Вид напряжений	Допускаемое значение, МПа
Сопротивление разрыву $[\sigma]$	1000
Напряжение среза при кручении с изгибом $[\sigma_{ср. к.и}]$	100
Напряжение смятия $[\sigma_{см}]$	700

Рассмотрим в качестве примера схемы нагружения торцовых муфт револьверных головок токарных станков (рис. 67). Составляющие силы резания, действующие в точке R: $P_т$, $P_о$ и $P_р$ (тангенциальная, осевая и радиальная), так как принятые в теории резания составляющие P_X, P_Y и P_Z не совпадают по направлению с координатными осями станков с ЧПУ. Точка A является проекцией точки R на плоскость стыка муфты. Допустим, что на полумуфту с круговым зубом (рис. 67, *а*) действуют следующие крутящие моменты и силы: $M_{кр} = P_т OB + P_р AB$; $M_{изг} = \sqrt{(P_т AR)^2 + (P_р AR)^2}$; $P_{вн} = P_о$ — осевая сила от внешних нагрузок. При поверочных расчетах значение $M_{кр}$ на муфте следует сравнить с наибольшим передаваемым моментом, подсчитанным по формуле (6). По формулам (7)—(11) следует рассчитать $P_{кр}$, $P_{изг}$, $P_з$, $\sigma_{ср}$ и $\sigma_{см}$. Возникающие на зубьях напряжения среза и смятия должны быть меньше допускаемых значений $[\sigma_{ср. к. и}]$ и $[\sigma_{см}]$.

Для муфты с прямым зубом (рис. 67, *б*) приведен случай нагружения силой $P_о$ и моментом $M_{ст}$, возникающих при сверлении. Координаты вылета сверла по осям X и Z на рис. 67, *б* обозначены $W_X = AC$ и $W_Z = AB$. При расчетах следует рассматривать

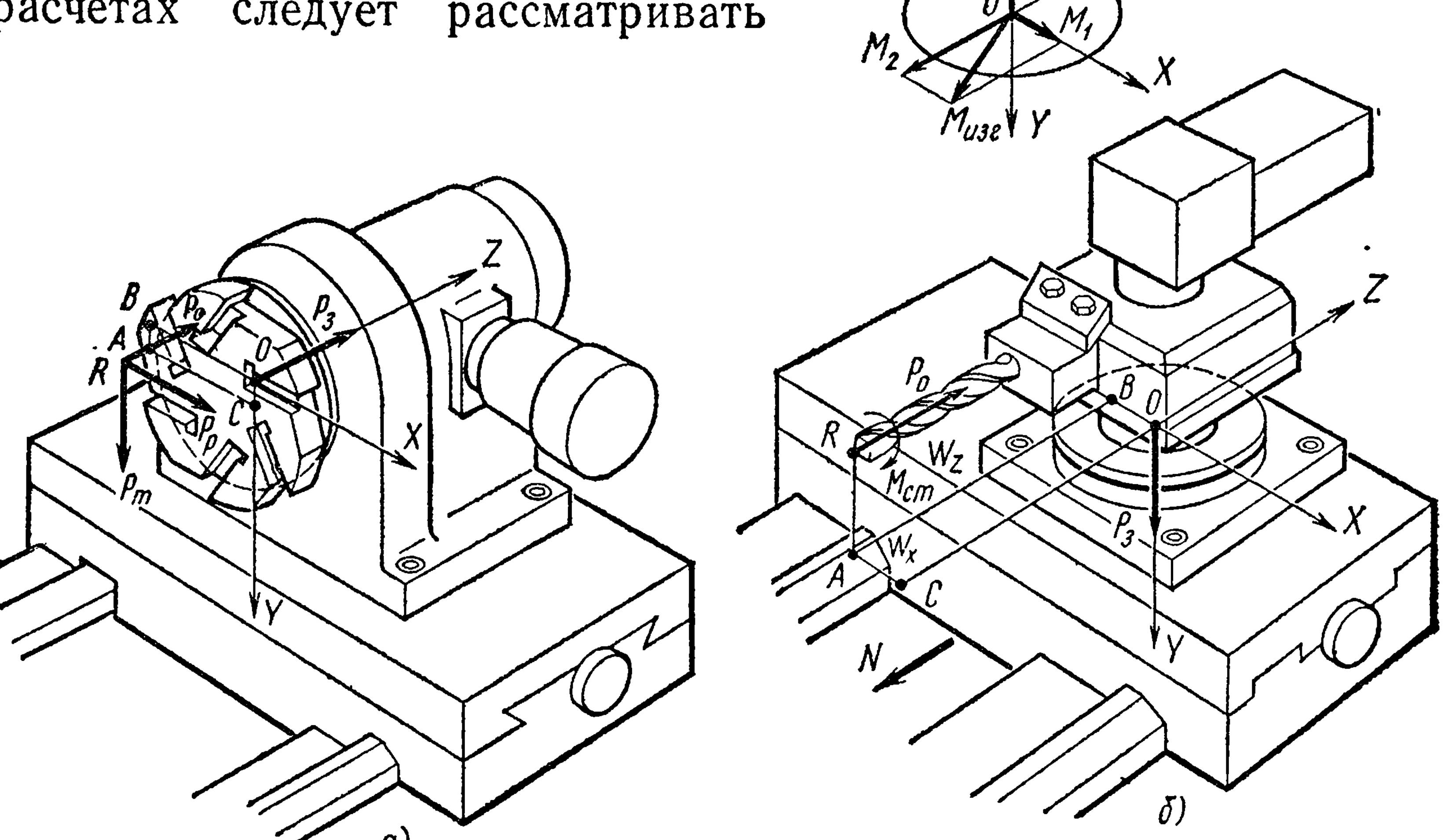


Рис. 67. Схемы нагружения плоской муфты револьверной головки: *а* — в станке 16К20Ф3; *б* — в станке 16К30Ф3

предельные максимальные нагрузки, при которых инструмент нагружен полным крутящим моментом главного привода станка $M_{ст}$ и полной тяговой силой привода подач $P_0 = N$. Безусловно, при предельных нагрузках работать не рекомендуется, однако они возможны в аварийной ситуации (ошибка в программе или сбой станка), когда инструмент врезался в металл заготовки на недопустимых режимах. В таких случаях жесткость и прочность муфты не должны допустить выхода ее из строя. Следует обратить внимание, что на рис. 67, *б* стык муфты лежит в плоскости XZ, а формулы (1)—(4) приведены для расположения стыка в плоскости XY, в связи с чем происходят изменения в обозначении сил и моментов: $M_{кр} = M_Y = -P_0 W_X$; $M_1 = M_X = P_0 AR$; $M_2 = M_Z = -M_{ст}$; $M_{изг} = \sqrt{M_X^2 + M_Z^2}$.

По формуле (4) сила затяжки

$$P_з \geqslant F_Q + \frac{2\sqrt{(P_0AR)^2 + M_{ст}^2} + P_0 W_X \operatorname{tg}\alpha}{R_{ср}};$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_з}{F_Q} + \frac{2\sqrt{(P_0AR)^2 + M_{ст}^2}}{F_Q R_{ср}} + \frac{P_0 W_X \operatorname{tg}\alpha}{F_Q R_{ср}} =$$

$$= \frac{P_з R_{ср} + 2\sqrt{(P_0AR)^2 + M_{ст}^2} + P_0 W_X \operatorname{tg}\alpha}{F_Q R_{ст}} \leqslant 1000 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_з R_{ср} - 2\sqrt{(P_0AR)^2 + M_{ст}^2} - P_0 W_X \operatorname{tg}\alpha}{F_Q R_{ст}} \geqslant 1{,}0 \text{ МПа}.$$

§ 5. СОЕДИНЕНИЯ С КОНИЧЕСКИМИ КОЛЬЦАМИ

Расчет соединений с коническими кольцами сводится к выбору типоразмера соединения исходя из значений крутящего момента $M_{кр}$ на ведущем валу и диаметра вала d (см. табл. 27). Изменяя силу затягивания соединения, можно развивать различное давление на поверхностях контакта. Пропорционально давлению изменяется передаваемый соединением крутящий момент. При использовании давления в 200 МПа необходимо подвергать закалке не только конические кольца, но и сопрягаемые с ними детали.

Условие выбора соединения: фактический крутящий момент в соединении должен быть меньше момента, выбранного по табл. 27.

Если по конструктивным соображениям нельзя применить ни одно из соединений, указанных в табл. 27, то можно выполнить расчет. Наибольший крутящий момент для соединения с одним комплектом колец

$$M_{кр} = \frac{fp\pi d^2 l}{2000}. \qquad (12)$$

Осевая сила, необходимая для затяжки соединения,

$$P = p\pi\, dl\, (\operatorname{tg}\alpha + 2f), \qquad (13)$$

где p — давление на поверхностях; f — коэффициент трения ($f = 0{,}12 \div 0{,}16$); α — угол конусности колец ($\alpha = 14 \div 17°$); d, l — размеры соединения (см. рис. 56).

§ 6. ПЕРЕДАЧА ВИНТ—ГАЙКА КАЧЕНИЯ

Нагрузки на винтовую пару качения, работающую в приводе подач станка, зависят от сил, необходимых на преодоление составляющий силы резания, сил трения и массы подвижных частей (особенно при вертикальных перемещениях рабочих органов). Диапазон частот вращения винтов при работе передач чрезвычайно широк: от долей оборотов в минуту в момент позиционирования до 1200—2000 об/мин в режиме быстрых перемещений исполнительных устройств.

Расчет передачи выполняют по следующей схеме.

1. Выбирают передачу из условий статической прочности, конструктивных и технологических возможностей изготовления·

2. Проверяют выбранную передачу по критериям осевой жесткости передачи и долговечности рабочих поверхностей винта и гайки (по усталости).

Для предварительного выбора передачи сравнивают возможную максимальную осевую нагрузку на винте станка Q_0 с максимально допустимой осевой статической нагрузкой $[Q_0]$. В табл. 25 приведено значение $[Q_{ст}]$ на один рабочий контур. Для подсчета допускаемой осевой статической нагрузки на винте необходимо значение $[Q_{ст}]$ умножить на k число рабочих контуров в полугайке: $[Q_0] = [Q_{ст}]\, k$.

Осевая нагрузка на винте определяется максимальной силой тяги, развиваемой приводом. Возможен случай, при котором подвижный рабочий узел упирается в жесткий упор, в этот момент винтовая пара нагружена максимальной осевой нагрузкой привода.

Для всех видов приводов крутящий момент на ходовом винте

$$M_{кр} = M_{дв} i \eta, \qquad (14)$$

где $M_{дв}$ — крутящий момент двигателя привода, Н·м; i, η — соответственно передаточное отношение и КПД кинематической цепи от двигателя к винту.

Окружная сила на радиусе резьбы

$$T_0 = \frac{2M_{кр} \cdot 10^3}{d_0}, \qquad (15)$$

где d_0 — номинальный диаметр винта, мм.

Осевая сила Q_0 связана с окружной следующей зависимостью

$$Q_0 = \frac{T_0}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho)}; \qquad (16)$$

$$Q_0 = \frac{T_0 (1 - \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\rho)}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\rho},$$

где $\operatorname{tg}\alpha = \frac{P}{\pi d_0}$; $\operatorname{tg}\rho = f_к$;

α — угол подъема резьбы; ρ — угол трения; P — шаг резьбы винта, мм; $f_к$ — коэффициент трения качения.

По экспериментальным данным $f_к = (57 \div 85)\, 10^{-5}$, т. е. гораздо меньше, чем $\operatorname{tg}\alpha$. С большей степенью точности можно принять $Q_0 = \frac{T_0}{\operatorname{tg}\alpha}$. Отсюда

$$Q_0 = 2 \cdot 10^3 \pi \frac{M_{кр}}{P}. \qquad (17)$$

Формула (17) позволяет подсчитать для различных шагов резьбы P отношение $Q_0/M_{кр}$:

Шаг, P, мм	3	5	6	10	12	20
$Q_0/M_{кр}$, Н/(Н·м)	2094	1256	1047	628	523	314

Данные соотношения облегчают расчет фактических осевых сил резания в зависимости от действующих крутящих моментов (осевая нагрузка на винте прямо пропорциональна крутящему моменту и обратно пропорциональна шагу резьбы).

Значение допускаемых осевых статических нагрузок, приведенные в табл. 25, рассчитаны из условия, что значения контактных напряжений не превысят предельно допускаемых (3000 Н/мм²) (при превышении возникают пластические деформации рабочих поверхностей). Подсчет выполнен по формуле

$$[Q_{ст}] = a d_ш^2 z_i,$$

где a — коэффициент; $d_ш$ — диаметр шариков; z_i — число рабочих шариков в одном контуре, $z_i = \frac{0{,}7\pi d_0}{d_ш}$.

Технологические соображения ограничивают максимальную длину винта. Основная трудность в изготовлении винтов большой длины заключается в сложности получить малое радиальное биение на нежесткой детали. Однако следует предостеречь от другой крайности: использования в конструкции станков винтов большого диаметра и малой длины, жесткость которых в поперечном направлении чрезвычайно велика. Такой винт, имеющий с обоих концов жесткие опоры и работающий с беззазорно соединенной гайкой, становится дополнительной, зачастую нежелательной, направляющей для подвижного механизма, прямолинейность перемещения которого начинает определяться не только точностью направляющих, но и качеством исполнения и монтажа винтовой

пары качения. Если принять число 25 за оптимальное (удовлетворяющее конструктивным и технологическим соображениям) отношение длины винта к его диаметру в 40 мм, то можно подсчитать для других типоразмеров пар соотношение между длиной L и диаметром d_0 из условий равной поперечной жесткости:

d_0, мм	16	20	25	32	40	50	63	80	100
L, мм	300	400	540	735	1000	1350	1800	2500	3400
L/d_0	18,5	20,0	21,4	23,0	25,0	27,0	29,0	31,5	34,0

При необходимости можно уменьшать длины винтов или увеличивать их до предельной длины, указанной в табл. 23.

Подобранную по осевой нагрузке, конструктивным и технологическим соображениям винтовую пару необходимо проверить на осевую жесткость. Осевая податливость пары $\delta_{общ}$ складывается из деформации $\delta_в$ растяжения (сжатия) самого винта, осевой податливости опор $\delta_{оп}$ и контактной деформации $\delta_п$ пары винт—гайка:

$$\delta_{общ} = \delta_в + \delta_{оп} + \delta_п. \quad (18)$$

Деформация растяжения или сжатия винта, мкм,

$$\delta_в = 10^4 \frac{l}{EF} Q_o, \quad (19)$$

где l — наибольшее расстояние от осевой опоры винта до середины гайки, см; $E = 2{,}1 \cdot 10^7$ — модуль упругости материала винта, Н/см²; Q_o — осевая сила, Н; F — площадь сечения винта, см²; $F = \frac{\pi d_{к.в}^2}{4}$; $d_{к.в}$ — рабочий диаметр, см; $d_{к.в} = d_0 - d_ш \cos\beta = d_0 - 0{,}707 d_ш$; $\beta = 45°$ — угол контакта шарика с винтом и гайкой.

$$\delta_{оп} = \frac{Q_o}{j_{оп}}, \quad (20)$$

где $j_{оп}$ — осевая жесткость опор, Н/мкм.

Для опор с шариковыми и роликовыми подшипниками жесткость $j_{оп}$ можно найти по экспериментальным кривым (рис. 68), где жесткость выражена как функция внутреннего диаметра d подшипника. Переменным параметром является также предварительный натяг подшипников A_0, который на графиках выражен отношением $\gamma = A_0/d$, Н/мм. Например, упорный роликовый подшипник с внутренним диаметром $d = 60$ мм смон-

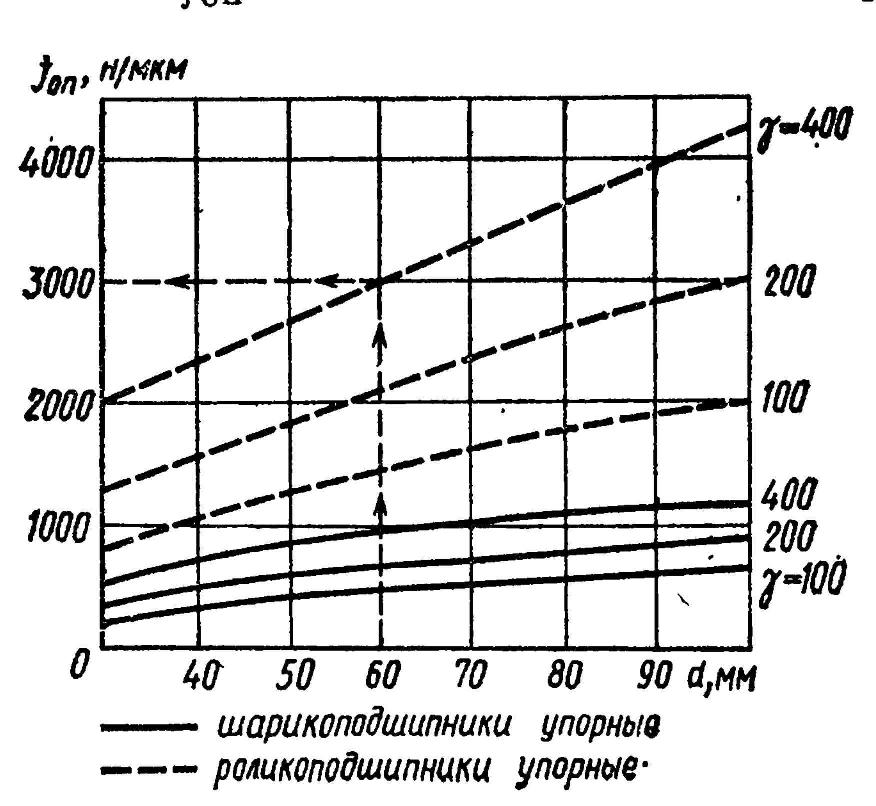


Рис. 68. Экспериментальные кривые для определения осевой жесткости опор винтов

33. Данные для расчета циклов нагружения

Номинальный диаметр винта d_0, мм	Шаг P, мм	Диаметр шарика $d_ш$, мм	Число рабочих шариков в витке z_i	Условное число циклов нагружения C_i
16	3	2	20	10,9
	5	3	12	6,8
20	5	3	16	9,2
	6	3,5	13	7,65
25	5	3	21	11,4
	6	3,5	17	8,9
32	5	3	28	14,9
	6	3,5	24	12,9
	10	6	12	6,8
40	5	3	37	19,4
	6	3,5	31	16,4
	10	6	16	8,8
	12	7	13	7,3

Номинальный диаметр винта d_0, мм	Шаг F, мм	Диаметр шарика $d_ш$, мм	Число рабочих шариков в витке z_i	Условное число циклов нагружения C_i
50	5	3	47	24,5
	6	3,5	40	21,0
	10	6	21	11,4
	12	7	17	9,3
63	6	3,5	51	26,5
	10	6	28	14,9
	12	7	23	12,4
80	10	6	37	19,5
	12	7	30	15,9
	20	10	20	10,9
100	10	6	47	24,5
	12	7	40	21,0
	20	10	26	13,9

тирован с натягом $A_0 = 24\,000$ Н, что дает $\gamma = 400$ и $j_{оп} = 3000$ Н/мкм. Увеличение натяга в подшипнике способствует увеличению жесткости, однако не следует увеличивать натяг выше $\gamma = 400$, так как это может снизить долговечность подшипника.

Контактная деформация пары винт—гайка, мкм,

$$\delta_п = \frac{Q_0}{j} = Q_0\omega,$$

где j — осевая жесткость пары, Н/мкм; ω — податливость передачи, мкм/Н.

Значения j и ω берут из табл. 25, в которой приведены данные для предварительного натяга в паре, равного 0,25 $[Q_0]$. Практически такой натяг обеспечивает высокую жесткость при условии полного использования нагрузочной способности. У отрегулированной с таким натягом пары при осевой нагрузке, равной максимальной статической, одна из гаек окажется предельно нагруженной, а во второй предварительный натяг станет равным нулю, т. е. начнет образовываться зазор. Сумму деформаций $\delta_в$, $\delta_{оп}$, $\delta_п$ необходимо сравнить с допускаемой деформацией передачи, равной величине зоны нечувствительности по данной координате.

Поверочный расчет на долговечность (по выносливости рабочих поверхностей) сводится к вычислению коэффициента долговечности $Д$ исходя из расчетного срока службы в 5000 ч:

$$Д = 0{,}28\sqrt[3]{nC_i}, \qquad (21)$$

где n — расчетная частота вращения винта, об/мин, $n = \frac{n_{max} + n_{min}}{2}$; ($n_{max}$ и n_{min} — соответственно максимальная и минимальная частота вращения винта); C_i — условное число циклов нагружения на один оборот винта, приближенно $C_i = 0{,}5z_i\left(1 + \frac{d_ш}{d_0}\cos\beta\right)$, здесь z_i — число рабочих шариков в одном витке гайки (табл. 33), β — угол контакта шарика с профилем резьбы, $\beta = 45°$.

Если коэффициент $Д \leqslant 1$, то нагрузка, вычисленная из условия статического нагружения, допустима и из условий долговечности. При $Д > 1$ допускаемая осевая нагрузка по долговечности $[Q_д]$ соответственно уменьшается: $[Q_д] = \frac{[Q_о]}{Д}$. Долговечность винтовой пары соответствует расчетному сроку службы, если расчетная осевая нагрузка $Q_{о.\,расч}$ не превышает допускаемую нагрузку по долговечности: $Q_{о.\,расч} \leqslant [Q_д]$. Расчетная осевая нагрузка

$$Q_{о.расч} = \frac{Q_1t_1 + Q_2t_2 + \cdots + Q_it_i}{T},$$

где Q_1, Q_2, ..., Q_i — осевые нагрузки в передаче, действующие соответственно в периоды времени t_1, t_2, ..., t_i; T — срок службы пары, $T = t_1 + t_2 + \cdots + t_i$.

Раздел 3

НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕГУЛИРОВКА СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава IX
ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

§ 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Токарные станки с ЧПУ являются наиболее многочисленной группой в парке станков с ЧПУ, составляя примерно половину от общего числа станков. По назначению станки подразделяют на патронные, центровые и патронно-центровые. Патронные станки предназначены для обработки сравнительно коротких деталей при их консольном закреплении в зажимном патроне. Центровые станки оснащены задней бабкой и приспособлены для обработки валов, установленных в центрах. У патронно-центровых станков с помощью задней бабки осуществляется поддержка одного из концов обрабатываемой заготовки, эти станки приспособлены также для выполнения патронных работ.

В основном токарные станки имеют горизонтально расположенную ось шпинделя, исключение составляют двухсуппортные станки 1734Ф3 и карусельные станки для обработки крупных деталей, например 1512Ф3.

Весьма существенной чертой в компоновке станка является расположение направляющих суппорта: горизонтальное, вертикальное или наклонное. Станки с горизонтальными направляющими (16Б16Ф3, 1А341Ц, 16К20Ф3, 16К30Ф3) сохранили внешнее сходство с универсальными токарными и револьверными станками. Станки с вертикальными и наклонными направляющими оригинальны в своем исполнении, об их преимуществах было сказано ранее: удобство обслуживания, облегчение схода и удаления стружки, расположение ходового винта станка между направляющими, что способствует повышению точности перемещения суппорта.

Для станков с ЧПУ с горизонтальными направляющими возможна значительная унификация конструкции со станками с ручным управлением (РУ); однако при условии, что основой для унификации является станок с ЧПУ, а станок с РУ создают на его базе.

Среди моделей станков, обладающих большой степенью узловой и подетальной унификации, имеются станки с ручным управлением (16К20, 1М63Б, 16К30), цикловые (1М63Ц), с цифровой индикацией (16К20Ф1, 1М63Ф1), с ЧПУ (16К20Ф3,

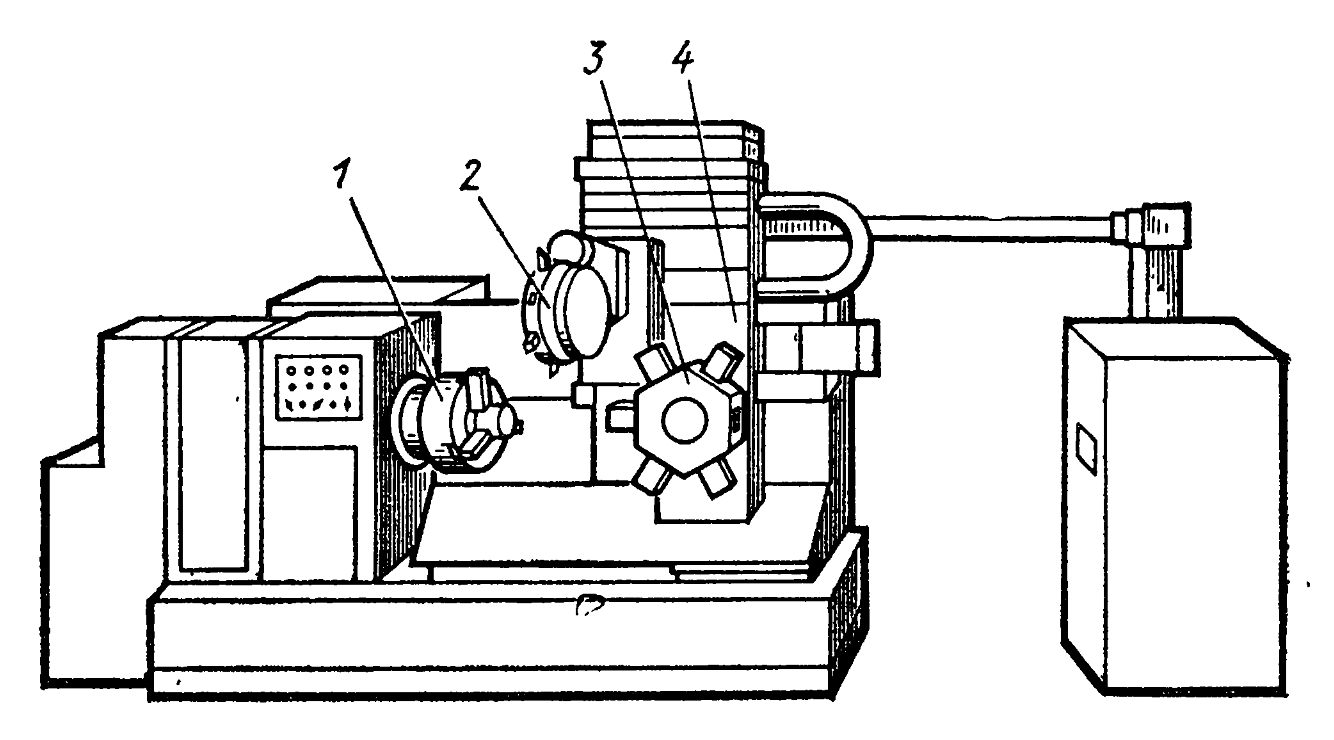


Рис. 69. Токарный станок с двумя револьверными головками

16К20РФ3, РТ705Ф3, РТ706Ф3, 16К30Ф3, РТ720Ф3), с оперативным программным управлением (16К20Т1, 16К30Ф30).

Технические характеристики некоторых отечественных станков приведены в табл. 34 и 35. Под точностью обработки, параметры которой указаны в таблицах, подразумевается разность между наибольшим и наименьшим отклонениями от размера в партии деталей, а под повторяемостью — тот же параметр для двух деталей, последовательно обрабатываемых одна за другой.

Токарные станки имеют две управляемые координаты: Z — вдоль оси шпинделя; X — перпендикулярно этой оси. Перемещение по оси Z осуществляется кареткой станка, вдоль оси X — поперечными салазками суппорта.

На поперечных салазках установлен либо резцедержатель (при смене инструмента из магазина), либо револьверная поворотная инструментальная головка. Головка может иметь два различных положения оси поворота: совпадающее по направлению с осью Z и перпендикулярное плоскости XZ. Существует тенденция оснащения станков не одной, а двумя револьверными головками (рис. 69). Одна из головок имеет ось поворота, совпадающую по направлению с осью Z, — это головка *2*, используемая для обработки наружных поверхностей. Другая головка *3* имеет ось поворота, перпендикулярную плоскости XZ, и инструменты, закрепленные в ней, предназначены для обработки внутренних поверхностей. Располагают головки по разные стороны от оси шпинделя с некоторым сдвигом друг относительно друга: головка *2* установлена на поперечные салазки *4* ближе к переднему торцу шпинделя *1*, а головка *3* удалена от него. Такое размещение способствует лучшему доступу инструментов к обрабатываемой детали. На станках с двумя головками в работе могут участвовать 10—16 режущих инструментов.

Инструментальные магазины в токарных станках редко применяют. В этом случае для сокращения времени смены инструментов необходимо применять манипуляторы, что усложняет кон-

34. Технические характеристики некоторых патронных токарных станков

Характеристика	АТПР2М	1734Ф3	1П717Ф3	КТ141Ф3	16К20РФ3	1П756ДФ3
Расположение оси шпинделя	Горизонтальное	Вертикальное	Горизонтальное	Горизонтальное	Горизонтальное	Горизонтальное
Расположение направляющих	Наклонное	То же	Вертикальное	То же	Горизонтальное	Наклонное
Наибольший диаметр заготовки над станиной, мм	250	320	400	400	400	630
Наибольший диаметр обработки над суппортом, мм	165	—	200	200	220	500
Наибольшая длина детали, мм	100	200	100	100	150	320
Наибольшее перемещение суппорта, мм:						
по оси X	170	240	160	125	250	480
по оси Z	230	520	420	250	900	720
Частота вращения шпинделя, об/мин	70—1780	50—1250	40—1600	56—2500	12,5—2000	8,0—1600
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:						
по оси X	2400	2400	2400	2400	2400	7500
по оси Z	4800	4800	4800	4800	4800	10000
Дискретность отсчета, мм:						
по оси X	0,005	0,01	0,005	0,005	0,005	0,001
по оси Z	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001
Число ступеней частот вращения шпинделя (общее/по программе)	16/4	11/6	17/12	12/12	22/9	69/69
Число режущих инструментов	12	4+4 (две головки на двух суппортах)	6	12	8	4+8 (две головки на суппорте)
Мощность привода главного движения (через дробь — значения двухскоростных двигателей), кВт	8,3/10,2	13,8/20,4	6,5/8,5	13,0	10	22,0
Точность обработки размеров, мм:						
диаметральных	0,03	0,04	0,02	0,015	0,03	0,015
линейных	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03

Характеристика	АТПР2М	1734Ф3	1П717Ф3	КТ141Ф3	16К20РФ3	1П756ДФ3
Повторяемость размеров, мм:						
по оси X	0,015	0,025	0,01	0,005	0,015	0,005
по оси Z	0,03	0,25	0,02	0,01	0,025	0,008
Габаритные размеры, мм:						
длина	2240	2050	2620	2165	3360	2975
ширина	1750	2310	2670	5050	1710	2470
высота	2035	3050	1860	1870	1750	2450
Масса, кг	4000	4000	2955	5350	4000	8800

35. Технические характеристики некоторых патронно-центровых и центровых токарных станков с ЧПУ

Характеристика	16Б16Ф3	16К20Ф3С5	1П752МФ3	1Б732Ф3	16К30Ф3
Расположение шпинделя	Горизонтальное	Горизонтальное	Горизонтальное	Горизонтальное	Горизонтальное
Расположение направляющих	То же	То же	Вертикальное	Наклонное	То же
Наибольший диаметр обработки, мм:					
над станиной	320	400	500	590	630
над суппортом	160	220	315	320	315
Наибольшая длина детали, мм	710	1000	710	1400	1400
Наибольшее перемещение суппорта, мм:					
по оси X	195	250	350	210	320
по оси Z	700	900	1100	1350	1200
Частота вращения шпинделя, об/мин	45—1800	12,5—2000	6,3—1250	25—1250	6,3—1250
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
по оси X	2400	2400	2400	2400	2400
по оси Z	4800	4800	4800	4800	4800
Дискретность отсчета, мм:					
по оси X	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
по оси Z	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Число ступеней частот вращения шпинделя (общее/по програме)	17/9	22/9	28/12	28/28	28/12

Характеристика	16Б16Ф3	16К20Ф3С5	1П752МФ3	1Б732Ф3	16К30Ф3
Число режущих инструментов	6	6	8	6	4
Мощность привода главного движения, кВт	3,8/6,3	10,0	22,0	40,0	17,0
Точность обработки размеров, мм:					
диаметральных	0,02	0,02	0,04	0,035	0,035
линейных	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Повторяемость размеров, мм:					
по оси X	0,01	0,01	0,02	0,015	0,015
по оси Z	0,02	0,025	0,03	0,025	0,025
Габаритные размеры, мм:					
длина	3065	3360	3740	4070	6000
ширина	2324	1710	1840	1800	3450
высота	1860	1750	2450	2665	2150
Масса, кг	2470	5000	9500	11500	7000

струкцию. Кроме того, при обработке хрупких пылеобразующих материалов затруднена защита присоединительных поверхностей инструментальных резцовых блоков суппорта.

§ 2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ И РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

На некоторых токарных станках предусмотрена непосредственная установка режущих инструментов в пазы револьверных головок. В этом случае можно использовать либо специализированные режущие инструменты в виде малогабаритных резцовых вставок, имеющих регулировочные элементы для выверки положения режущих кромок, либо мерные инструменты, подобные инструменту общего назначения, но отличающиеся более высокой точностью расстояний от вершины режущих кромок до базовых поверхностей.

В большинстве случаев конструкция револьверных головок предусматривает использование промежуточных вспомогательных инструментов — резцовых блоков (резцедержателей), имеющих две разнородные группы поверхностей: для закрепления в них режущих инструментов и для базирования самих блоков в револьверной головке станка. В резцовых блоках можно закреплять инструменты общего назначения как в мерном, так и в обычном исполнении. Резцовые блоки должны отвечать следующим требованиям: быть жесткими и прочными; иметь малоизнашиваемые присоединительные поверхности; иметь высокую точность присоединительных поверхностей; иметь малую массу.

36. Размеры резцовых блоков с цилиндрическими хвостовиками, мм

Высота резца h	d	h_1	h_2	h_3	b	l_1	l_2
16	30	27	28	35	20	55	48
20	40	36	32,5	42,5	85	63	
25	50	45	35	50	100	78	56
32	60	55	42,5	62,5	125	94	
40	80	72	55	80	160	124	80

37. Размеры резцовых блоков с базирующей призмой, мм

Высота резца h	d	h_1	h_2	h_3	h_4	t_1	t_2	b	l
16	25	56	52	32	20	13	5	16	65
20	40	72	68	42	25	15	6	20	85
25	50	90	85	50	30	17		25	150
32	60	115	110	65	45	19			108
40		140	135	80	60	23			118

Резцовые блоки базируются в револьверной головке с помощью цилиндрического хвостовика с рифленой лыской (рис. 70, табл. 36) или базирующей призмы с фиксатором (рис. 71, табл. 37).

Эти резцовые блоки образуют две системы вспомогательных инструментов, представленные соответственно на рис. 72 и рис. 73. Через резцедержатели подводится СОЖ к зоне резания, для чего в них выполняют отверстия и снаружи крепят трубки. Винты для крепления режущих инструментов, по возможности, делают утопленными, чтобы не давать задерживаться и скапливаться стружке. Для установки режущих и других вспомогательных инструментов в блоках имеются цилиндрические отверстия и пазы. Большой универсальностью обладают двусторонние и трехсторонние блоки, которые позволяют крепить одновременно несколько инструментов.

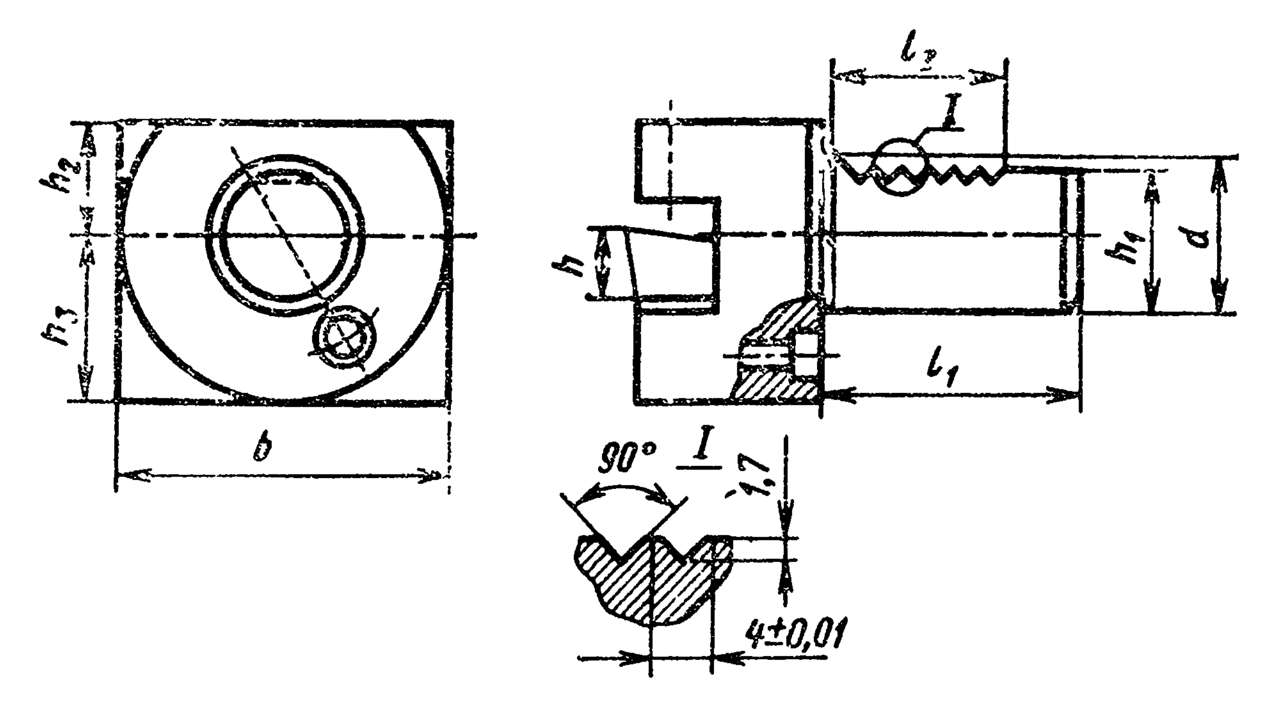


Рис. 70. Резцовый блок с цилиндрическим хвостовиком

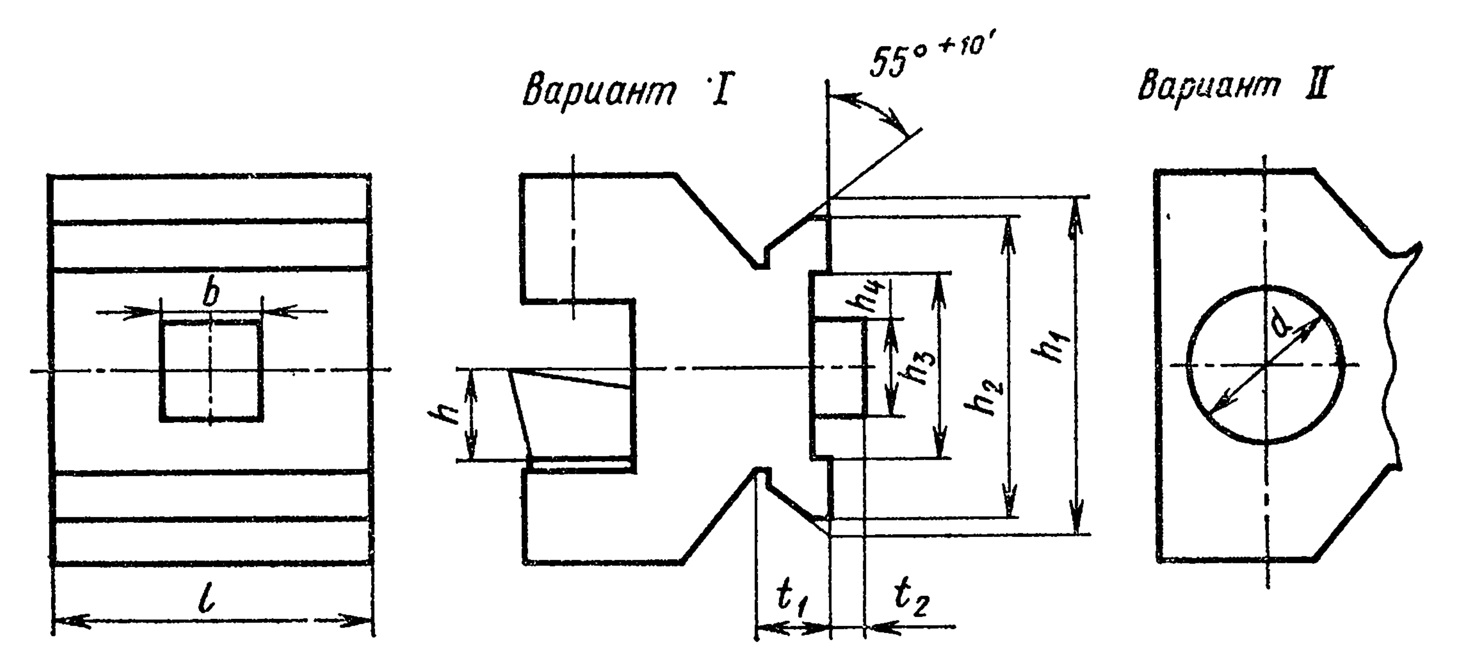


Рис. 71. Резцовый блок с базирующей призмой

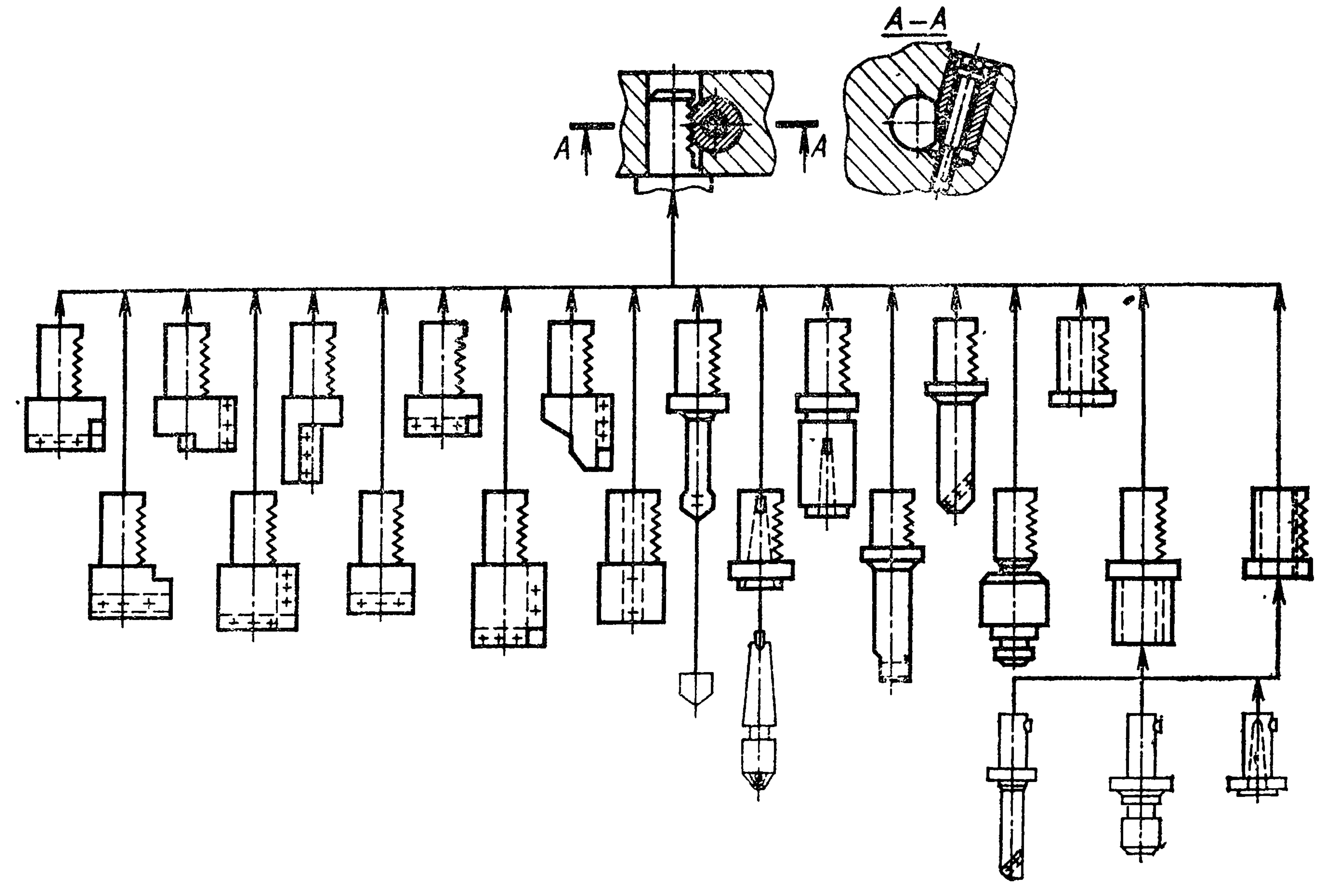


Рис. 72. Вспомогательные инструменты с цилиндрическим хвостовиком

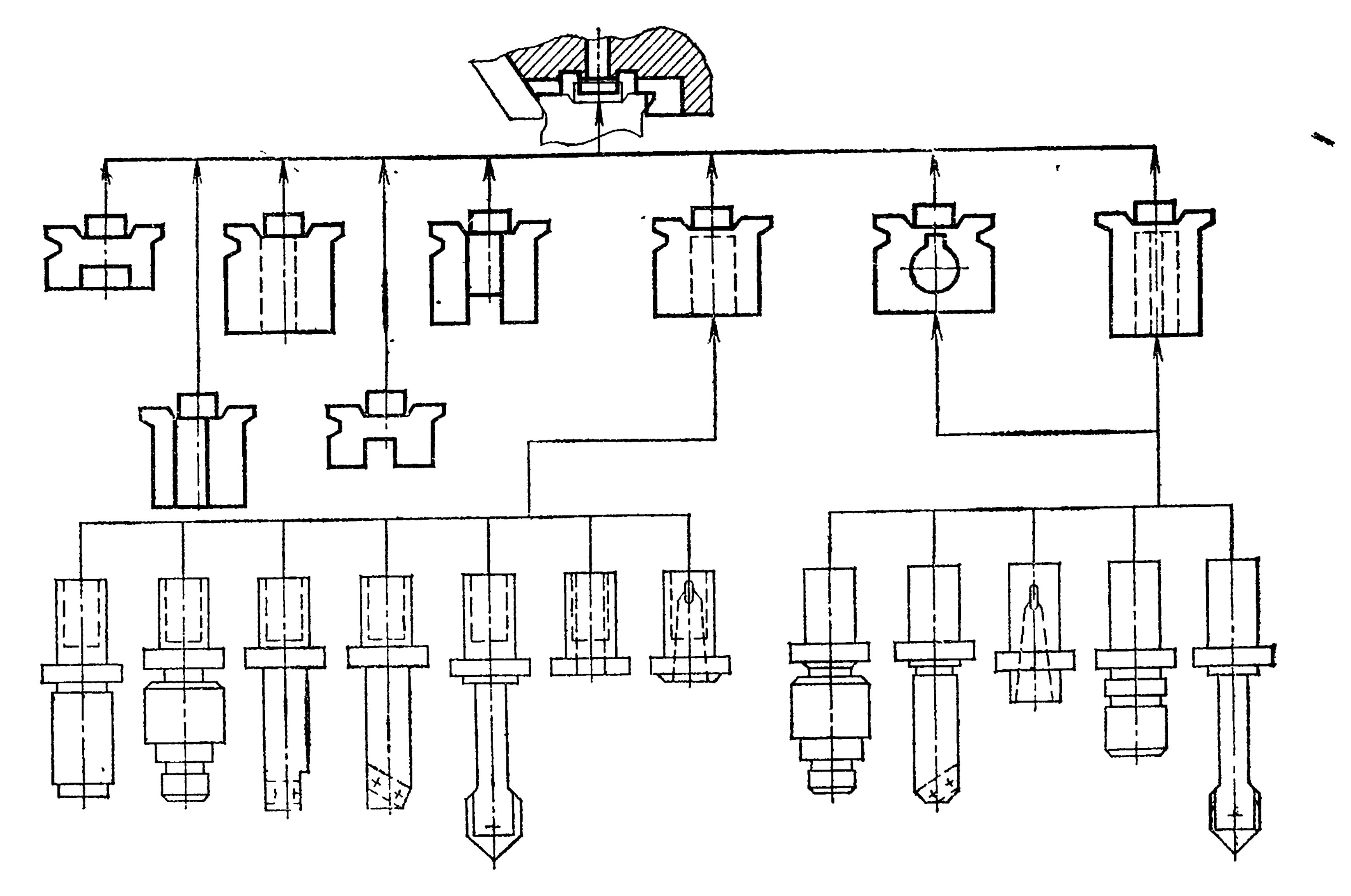


Рис. 73. Вспомогательные инструменты с базирующей призмой

Более 85 % трудоемкости всех токарных работ выполняют резцами. Резцы общего назначения и резцовые вставки требуют настройки на размер вне станка, мерные резцы можно устанавливать в резцовых блоках без выверки, досылая державки до соприкосновения с жесткими упорами.

§ 3. ЗАЖИМНЫЕ УСТРОЙСТВА КРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

Зажимные устройства базируют по специальным поверхностям переднего конца шпинделя и пиноли задней бабки. На шпинделе эти поверхности выполнены в виде узкого уступа небольшой длины, торца фланца и центрального конического отверстия. Зажимные устройства, передающие крутящие моменты, базируют по конусному уступу и крепят к фланцу. Устройства для более легких работ и центры можно устанавливать в центральное коническое отверстие шпинделя.

Размеры концов шпинделей токарных станков регламентированы требованиями ГОСТ 12593—72 и ГОСТ 12595—72 (рис. 74, *а*). Первый ГОСТ относится к фланцевым концам под поворотную шайбу (в этом случае во фланце есть гладкие отверстия), второй — к фланцевым концам с закреплением зажимных устройств к шпинделю без поворотной шайбы (во фланце — резьбовые отверстия).

Установлен ряд условных размеров концов шпинделей (табл. 38).

При использовании поворотной шайбы появляется возможность быстрой смены зажимного устройства. Поворотную шайбу *2*

38. Размеры концов шпинделей, мм

Условный размер	D по ГОСТ 12593—72	D по ГОСТ 12595—72	D_1	D_2	d: Конус Морзе	d: Конус метрический	d_1	d_2	d_3 по ГОСТ 12593—72	d_3 по ГОСТ 12595—72
3	102	92	53,975	70,6	4	—	—	—	17	M10
4	112	108	63,513	82,6	4	—	14,0	M6	17	M10
5	135	133	82,563	104,8	5	—	16,0	M6	21	M10
6	170	165	106,375	133,4	6	80	19,0	M8	23	M12
8	220	210	139,719	171,4	—	80	24,0	M8	29	M16
11	290	280	196,869	235,0	—	100	28,0	M10	36	M20
15	400	380	285,775	330,2	—	120	35,0	M12	43	M24
20	540	520	412,775	463,6	—	120	42,0	M12	43	M24

(рис. 74, *б*) размещают сзади фланца шпинделя *7*. Она имеет фигурные пазы, выполненные в виде расточек большого диаметра и пазов меньшего размера. Втулками *4* и винтами *5* шайба удерживается в осевом направлении вблизи от фланца, но ее можно поворачивать на шпинделе на угол 15—25° (в зависимости от размера конца шпинделя). В зажимное устройство *6* (патрон, планшайбу и др.) ввернуты штыри *1*. В положении сборки поворотную

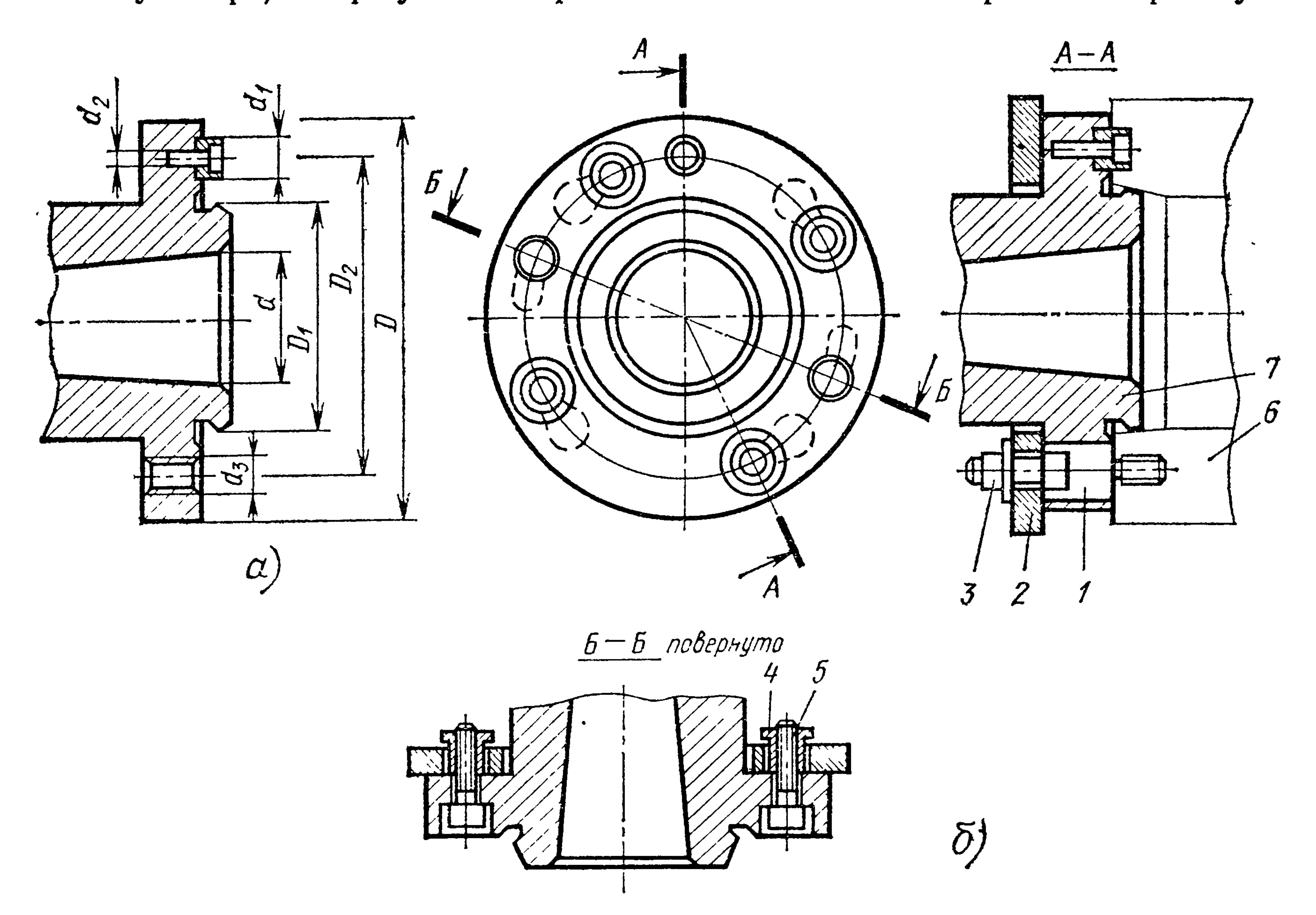


Рис. 74. Конец шпинделя токарных станков (*а*) и крепление зажимного устройства с помощью поворотной шайбы (*б*)

шайбу разворачивают таким образом, чтобы в большие отверстия фигурных пазов поворотной шайбы прошли гайки *3*. В исходном положении между торцом зажимного устройства и фланцем шпинделя должен быть зазор 0,03—0,1 мм (бо́льшие размеры для бо́льших условных размеров шпинделей). Поворотную шайбу поворачивают и равномерно подтягивают зажимное устройство до плотного прилегания к фланцу шпинделя.

Наиболее универсальными и распространенными на токарных станках зажимными устройствами являются трехкулачковые патроны. Для станков с ЧПУ к зажимным патронам предъявляются следующие требования: быстродействие; механизация закрепления; высокая точность и стабильность базирования и закрепления; быстрая переналаживаемость при переходе закрепления от одной детали к другой; универсальность, т. е. возможность закрепления в одном патроне деталей различных форм и размеров.

На рис. 75 представлен быстродействующий механизированный патрон типа ПКС (патрон клиновой самоцентрирующий) с клиновым зажимным механизмом. В радиальных пазах корпуса *1* патрона помещают три основных кулачка *2*, с рифленой поверхностью которых сопрягаются сменные кулачки *5*. Сменные кулачки закрепляют сухарями *3* и винтами *4*. При осевом перемещении муфты *7* кулачки *2*, сопрягающиеся с муфтой по наклонным (угол наклона 12°) Т-образным пазам, получают радиальное перемещение и зажимают или освобождают заготовку. Муфта *7* связана тягой с силовым приводом, размещенным на заднем конце шпинделя. Крышка *6* предохраняет патрон от проникновения в него грязи и стружки.

Более высокий технический уровень имеет механизированный быстропереналаживаемый патрон ПЗК (патрон трехкулачковый клиновой) (табл. 39). Отличительная черта патрона: возможность быстрой и точной перестановки кулачков на новый размер зажима.

В патроне ПЗК (рис. 76) корпус *1*, муфта *7*, крышка *6*, основной кулачок *2* выполняют те же функции, что в патроне ПКС. Прижим рабочего кулачка *5* к основному осуществляется с помощью тяги *4* и эксцентрика *3*, встроенного в основной кулачок.

39. Основные данные патронов ПЗК

Параметр	ПЗК 200	ПЗК 250	ПЗК 315	ПЗК 400
Наружный диаметр, мм	200	250	315	400
Высота корпуса, мм	105	105	125	125
Диаметр присоединительного пояска, мм	165	210	270	340
Диаметр зажима, мм:				
наименьший	20	20	30	30
наибольший	200	250	315	400
Ход кулачков	7	7	7	7
Масса, кг	36	41,7	76	119

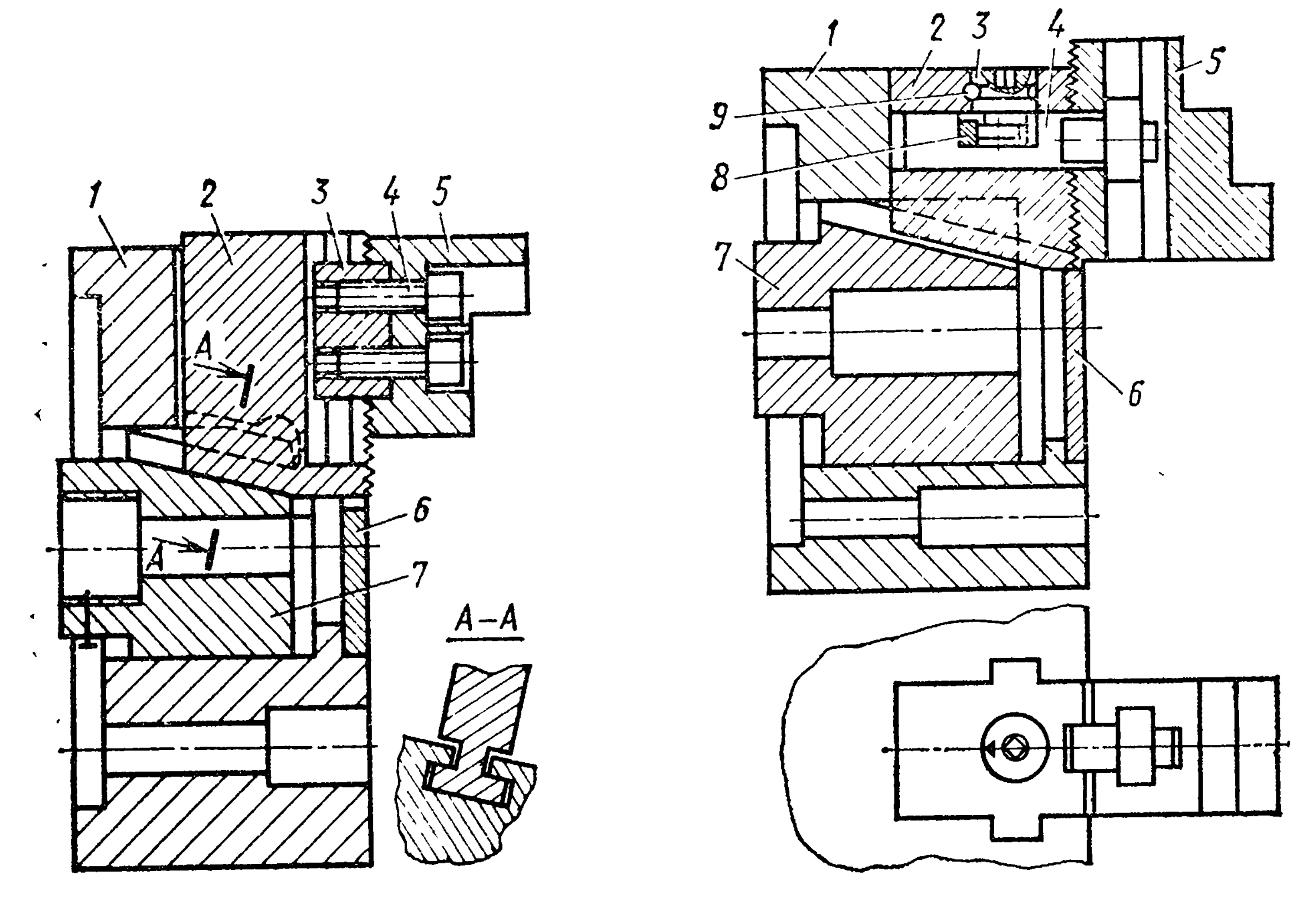


Рис. 75. Патрон типа ПКС с клиновым зажимным механизмом

Рис. 76. Быстропереналаживаемый патрон типа ПЗК

Штифт *9* предохраняет эксцентрик от выпадания. При повороте эксцентрик воздействует через промежуточный сухарь *8* на тягу *4*, которая прижимает за Т-образный паз рабочий кулачок *5* к основному кулачку *2*. Рабочий кулачок базируется по мелким зубьям насечки обоих кулачков и лыскам тяги *4*.

При повороте эксцентрика на угол 180° происходит отжим рабочего кулачка от основного на величину, превышающую высоту зубьев насечки, после чего появляется возможность переместить независимо каждый рабочий кулачок в радиальном направлении и закрепить его на нужном расстоянии от оси патрона. Для облегчения установки одинаковых расстояний от оси всех трех кулачков на торце патрона нанесены кольцевые риски. Время переналадки зажимных кулачков на новый размер не превышает 1,5 мин.

Переналадка патрона не ограничивается установкой на нужный размер рабочих кулачков. Необходимо произвести также осевое базирование заготовки таким образом, чтобы глубина захвата ее кулачками соответствовала глубине, предусмотренной в карте наладки. Наилучшие результаты дает раздельное базирование по торцу и диаметру, что позволяет уменьшить номенклатуру зажимных кулачков, ограничившись стандартным набором. Торцовые упоры зачастую выполняют в виде трех планок. Их крепят к корпусу патрона в промежутках между основными кулачками, для чего на торце патрона имеются радиально-направленные Т-образные пазы.

Патроны комплектуют закаленными и незакаленными рабочими кулачками. Закаленные кулачки служат обычно для за-

крепления необработанных заготовок на первых токарных операциях. На рабочих поверхностях кулачков выполнены продольные и поперечные канавки, создающие сетку зубчиков, впивающихся в тело заготовки. Для зажима пруткового материала используют кулачки прямой (цилиндрической) формы, для штампованных заготовок в кулачках предусматривают прямые и обратные уклоны (рис. 77). При прямых уклонах возникает осевая выталкивающая сила, поэтому угол уклона α не должен превышать 5°.

В незакаленных расточенных в ходе настройки кулачках закрепляют заготовки по обработанным поверхностям. В этом случае можно обеспечить в патронах нормальной точности взаимное расположение поверхностей, по которым произведен зажим и которые обрабатывают в пределах 0,015—0,030 мм. Для достижения более высоких точностей необходимо использовать патроны более высоких степеней точности (повышенной и высокой).

Точность патрона характеризуется радиальным и торцовым биением зажатых в патроне контрольных образцов (валиков и колец). Для достижения высокой точности обработки важно, чтобы при многократных зажимах образцов величина и направленность (относительно корпуса патрона) биения оставались постоянными, так как только в этом случае использование незакаленных кулачков может привести к достижению высокой точности.

Незакаленные кулачки для зажима заготовки по наружным цилиндрическим поверхностям подготавливают следующим образом.

1. Прикрепляют незакаленные рабочие кулачки к основным кулачкам, выдерживая равные по величине расстояния зажимных поверхностей от оси.

2. Зажимают основными кулачками или нерабочими поверхностями незакаленных кулачков жесткий цилиндрический диск так, чтобы он не мешал вести обработку рабочих поверхностей этих кулачков.

3. Растачивают рабочие поверхности незакаленных кулачков в размер заготовки и протачивают их торцовые поверхности.

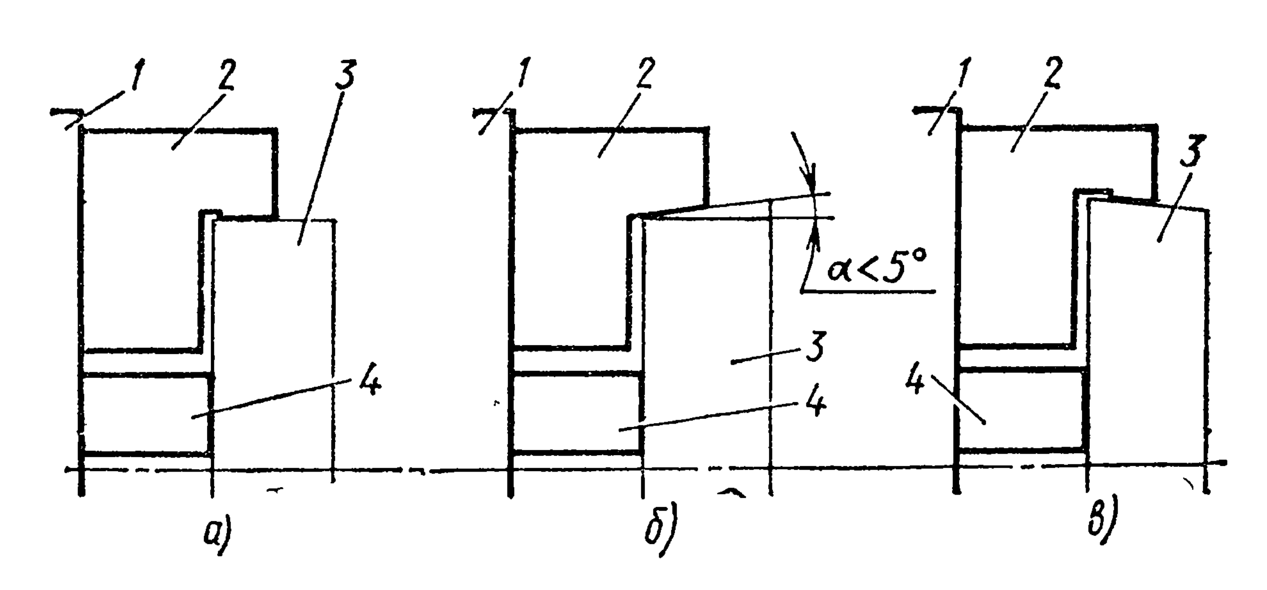
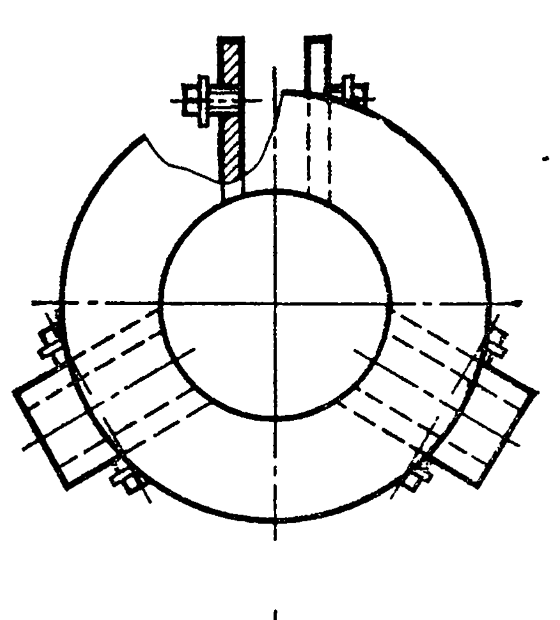
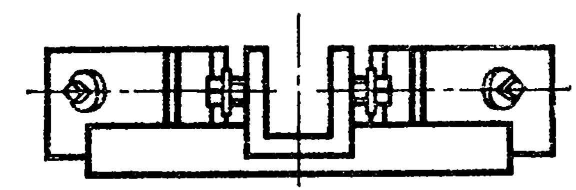


Рис. 77. Формы зажимных кулачков:

а — прямая; *б* — с прямым уклоном; *в* — с обратным уклоном; *1* — корпус патрона; *2* — кулачок; *3* — заготовка; *4* — осевой упор

Рис. 78. Накладная шайба для растачивания кулачков патрона





Указанное в п. 2 условие зажима жесткого цилиндрического диска связано с необходимостью выборки зазоров в механизме патрона для растачивания кулачков. Однако, поскольку растачивание необходимо выполнять при каждой настройке патрона на новый размер обрабатываемой заготовки, то требуется большое число дисков. Избежать затруднения можно, если использовать универсальную накладную шайбу (рис. 78). Шайбу накладывают на кулачки патрона таким образом, чтобы кулачки вошли в ее пазы. Винтами шайбу скрепляют с кулачками патрона, после чего механизму патрона придается внутренний натяг.

Быстродействующие патроны через промежуточную тягу имеют механизированный силовой привод от электромеханических головок, пневматических или гидравлических цилиндров, закрепляемых с помощью переходного фланца на заднем конце шпинделя. Наиболее часто применяют в конструкции отечественных станков вращающиеся пневматические цилиндры с воздухоподводящей муфтой.

Необходимо выполнять следующие правила эксплуатации пневмопатронов.

1. Перед установкой патрона на передний конец шпинделя проверить геометрическую точность посадочных поверхностей шпинделя и качество посадочных поверхностей патрона или переходного фланца.

2. При соединении патрона и штока цилиндра промежуточной тягой необходимо следить за тем, чтобы не был ограничен полный ход муфты из-за неправильного выбора длины тяги Правильность сборки следует контролировать, сняв предохранительную крышку с лицевой стороны патрона.

3. Через каждый месяц эксплуатации необходимо снять патрон со станка и после очистки смазать. Через 6 месяцев эксплуатации рекомендуется патрон разобрать, подвергнуть чистке, трущиеся поверхности обезжирить и натереть порошком двухсернистого молибдена, используя кожу или деревянный брусок.

4. Периодически проверять надежность затяжки винтов крепления патрона и пневмоцилиндра.

Детали типа валов при обработке зачастую базируют в центрах. За базу по оси Z принимают левый торец заготовки. Передний центр делают плавающим, т. е. смещающимся вдоль оси под давлением заднего центра станка. Давление передается через установленную в центрах заготовку, поджим заднего центра

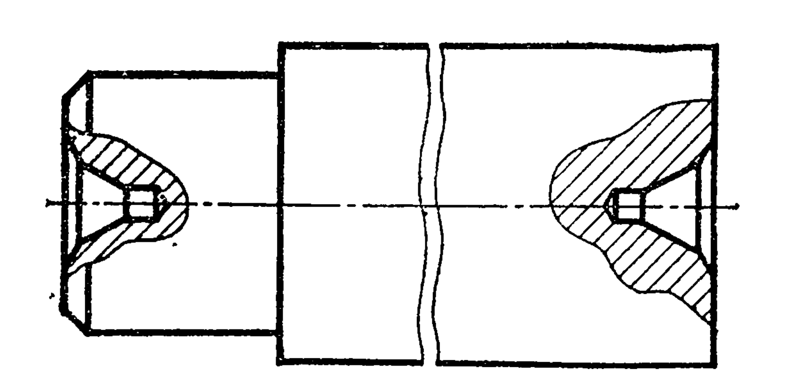
механизирован с помощью гидравлических или электромеханических устройств, встроенных в заднюю бабку. Смещение заготовки в сторону шпинделя происходит до тех пор, пока она своим левым торцом не упрется в торец крепежной оснастки, тем самым определяется положение по оси Z всех деталей партии независимо от глубины зацентровки.

Если на предшествующих операциях заготовка вала была соответствующим образом подготовлена, то описанное базирование в центрах может быть заменено на закрепление в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне с упором торца заготовки в осевые упоры патрона и поддержкой задним центром. Требуемая подготовка заключается в подрезке обоих торцов заготовки, центрировании и протачивании крайней шейки одного из концов вала (рис. 79). Обязательным условием при подготовке является высокая концентричность (в пределах половины допуска на последующую обработку) центрового гнезда и проточенной шейки, за которую в последующем можно зажимать вал в патроне.

При отсутствии проточенной шейки передача крутящего момента от шпинделя станка к детали осуществляется с помощью либо поводковых патронов, либо торцовых ножей, врезающихся в металл левого торца заготовки при нажатии задним центром.

Центробежные (инерционные) поводковые патроны выполняют двух- или трехкулачковыми (рис. 80). Кулачки *3* представляют собой независимые эксцентрики, которые под действием центробежных сил, воздействующих на грузы *2*, приближаются к поверхности заготовки и зажимаются за счет сил самоторможения при воздействии на заготовку силы резания. Диапазон размеров заготовок, зажимаемых одним таким патроном, чрезвычайно широк. Достаточно сказать, что набор из трех патронов позволяет зажимать заготовки диаметром 20—125 мм. Корпус *1* поводкового патрона для исключения возможности смещения заготовки с центров силами зажима должен иметь относительно шпинделя станка небольшие осевой и радиальный зазоры.

Широко распространены в качестве поводковых устройств торцовые ножи, врезающиеся в заготовку при нажатии задним



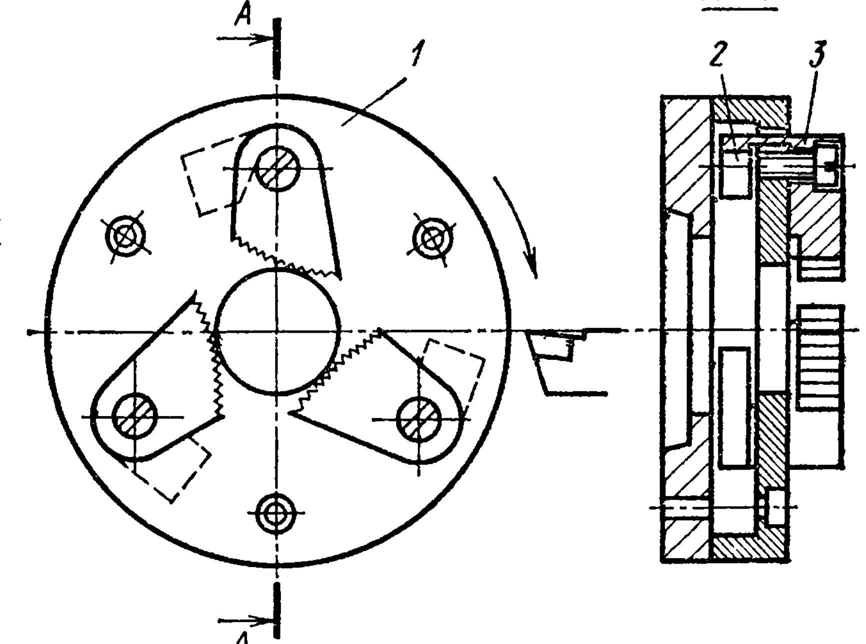


Рис. 79. Заготовка вала, подготовленная к обработке

Рис. 80. Центробежный поводковый патрон

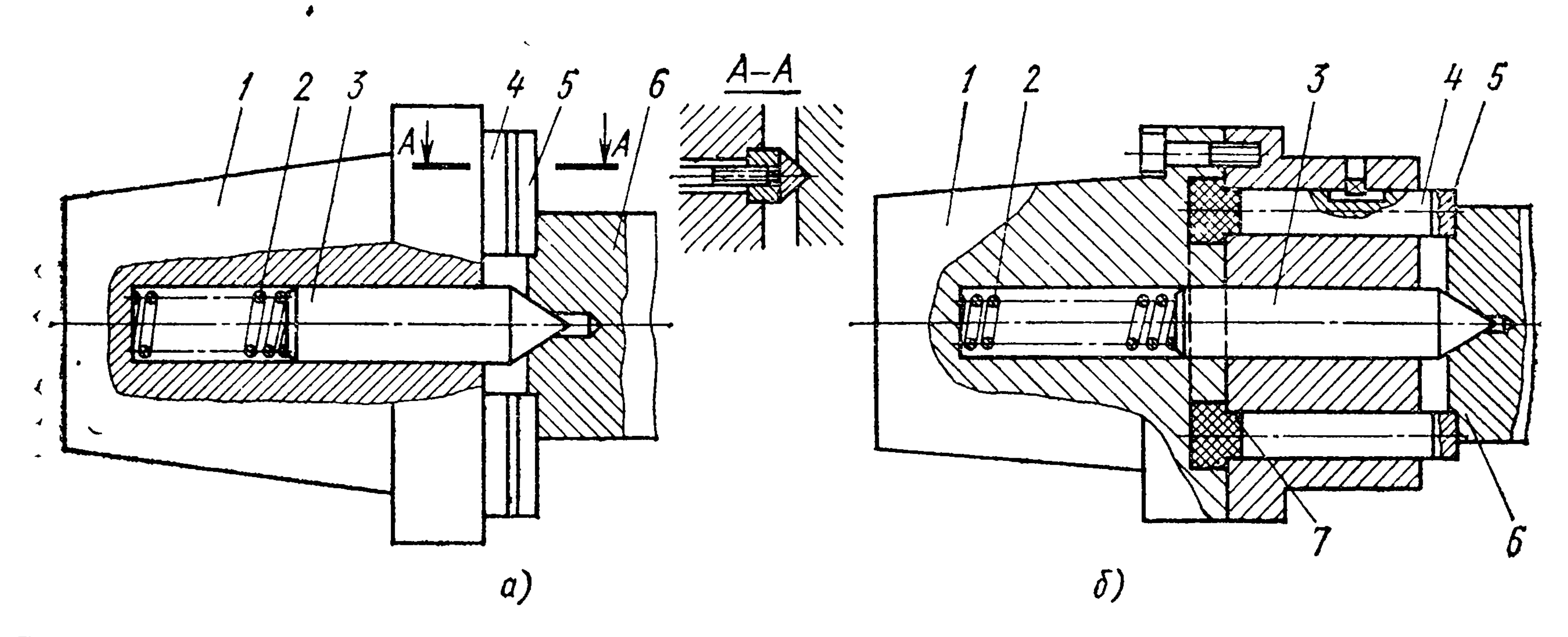


Рис. 81. Поводковый патрон с торцовыми ножами:

1 — корпус; *2* — пружина; *3* — плавающий центр; *4* — торцовый упор; *5* — нож торцового упора из твердого сплава; *6* — обрабатываемая заготовка; *7* — гидропласт

центром (рис. 81). В этом случае все наружные поверхности вала открыты для обработки, а постоянство силы нажатия заднего центра и высокая жесткость ножевых опор обеспечивают достаточно стабильное положение левого торца заготовок всей партии. Если торец заготовки имеет отклонение от перпендикулярности к оси, то жесткие ножи (рис. 81, *а*) врезаются в нее неравномерно. Это приводит к смещению заготовки с оси и ее деформированию, уменьшается передаваемый крутящий момент.

Плавающие ножи (рис. 81, *б*) выполнены в виде цилиндров, утопающих при соприкосновении с торцом заготовки. Задние концы цилиндров входят в кольцевую полость, заполненную гидропластом. При нажатии торцом вала на один из ножей давление в массе гидропласта возрастает, ножи, не имеющие контакта с торцом, смещаются вперед до тех пор, пока силы нажима на все ножи не станут одинаковыми. Такая конструкция обеспечивает по сравнению с жесткими ножами передачу бо́льшего крутящего момента. Сила поджима заднего центра в 20 000 Н дает возможность передать крутящий момент до 120 Н·м, что гарантирует возможность обработки на обычных режимах чернового точения.

§ 4. РЕЖИМЫ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

При отладке новой управляющей программы наладчик должен проверить правильность и оптимальность назначения программистом режимов резания. Режимы резания на черновых проходах назначают исходя из использования возможностей станка и режущего инструмента для достижения наиболее высокой производительности.

Глубину резания и подачу при программировании черновых проходов выбирают исходя из возможностей режущего инструмента по справочным таблицам и номограммам. При этом зачастую для подачи вводят поправку на удовлетворительное формирование стружки. Общее правило выбора этой поправки для вязких

сталей — для обеспечения стружкодробления необходимо увеличивать подачу.

В связи с тем, что наиболее часто сколы режущих кромок возникают в момент встречи инструментов с телом заготовки, целесообразно на участке врезания снизить подачу, а на последующем участке резания увеличить ее. Производительность будет соответствовать обработке с увеличенной подачей, а надежность работы инструмента — обработке с малой подачей.

Силовые возможности станка, которые могут влиять на выбор режимов резания, характеризуются мощностью и крутящим моментом на каждой из ступеней частот вращения шпинделя, силой приводов подач по обеим осям, допустимой силой на слабом звене, виброустойчивостью. В паспортных характеристиках станков приведены значения параметров в виде таблиц. С этими значениями необходимо сравнить затраты мощности, крутящие моменты и силы, возникающие при резании.

Силы тяги привода подачи по оси Z могут наложить ограничения на выбор режимов резания при сверлении. Нужно сверять возникающие при сверлении осевые силы с паспортными характеристиками приводов подач. Если необходимо просверлить отверстия большого диаметра на режимах, допускаемых силовой характеристикой главного привода, но ограниченных силой тяги привода подач, то можно рекомендовать сверление двумя сверлами. Первое сверло должно иметь сравнительно небольшой диаметр, примерно равный диаметру перемычки (поперечной режущей кромки) второго сверла. В этом случае при работе вторым сверлом резко падают осевые силы, так как перемычка сверла разгружается от работы. Некоторое уменьшение осевой силы может быть достигнуто также за счет подтачивания перемычки сверла.

При чистовой обработке ставится задача достижения требуемых точности и шероховатости. Шероховатость обрабатываемой поверхности определяется подачей и радиусом при вершине режущей кромки, а также жесткостью системы СПИД. В табл. 40 приведены наибольшие допускаемые для получения определенной шероховатости поверхности подачи при точении резцами с различными радиусами при вершине.

40. Зависимость параметров шероховатости от подачи

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм	Высота неровностей профиля Rz, мкм	Подача, мм/об, при радиусе при вершине, мм				
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
0,4	2,0	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15
0,8	4,0	0,11	0,15	0,19	0,22	0,24
2,5	10,0	0,16	0,24	0,29	0,34	0,38
4,0	16,0	0,22	0,30	0,37	0,43	0,48
6,3	25,0	0,27	0,38	0,47	0,54	0,6
32,0	100,0	0,54	0,76	0,93	1,08	1,2

§ 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Технологическую документацию, раскрывающую сущность программной операции, выполняют на бланках по формам ЕСТД. Несмотря на некоторые различия в оформлении документации различными предприятиями и организациями, имеются общие черты, позволяющие выделить следующие документы: карту эскизов, карту наладки, операционную технологию, текст программы (распечатку).

На карте эскизов, выполненной на бланках по форме 5 ГОСТ 3.1105—74, приведен эскиз детали после проведения данной запрограммированной операции (рис. 82). На эскизе детали цифрами указаны зоны обработки, например отверстие меньшего диаметра — зона *1*, отверстие большего диаметра — зона *2*, наружный диаметр — зона *3*, торец — зона *4*. Если по картам предыдущих операций невозможно точно установить размеры заготовки, то на карте эскизов или ее продолжении (форма 5а) изображают эскиз заготовки, поступающей на данную операцию. Эскиз заготовки приводят также в тех случаях, когда в цехах используют выбранную для станка с ЧПУ часть от полной технологической документации.

На таких же бланках оформлена карта наладки (рис. 83). В карте наладки показано базирование заготовки, тип и размеры зажимных устройств и элементов, взаимное расположение заготовки и суппорта, находящегося в нуле программы, типы инструментальных блоков и режущих инструментов и их привязка к позициям револьверной головки или гнездам магазина, а также другие сведения, необходимые для настройки станка.

В операционной карте механической обработки дан перечень переходов механической обработки с указанием вспомогательных и режущих инструментов, режимов резания, затрат основного и вспомогательного времени, контролируемых размеров и параметров с указанием измерительных инструментов.

По тексту программы наладчик должен установить моменты включения и отмены того или иного корректора положения инструмента, наличие в программе исключаемых кадров, помеченных дробной чертой; наличие или отсутствие технологических остановов по команде М01 (останов с подтверждением); кадров с символом «:» (главные кадры); номеров кадров, с которых начинаются отдельные переходы.

§ 6. НАСТРОЙКА СТАНКА НА ОБРАБОТКУ

Настройку токарного станка следует выполнять в такой последовательности.

1. Подобрать режущий инструмент, проверить его состояние. Не следует допускать к работе инструменты с изношенными кромками. Проверить надежность крепления и плотность прилегания

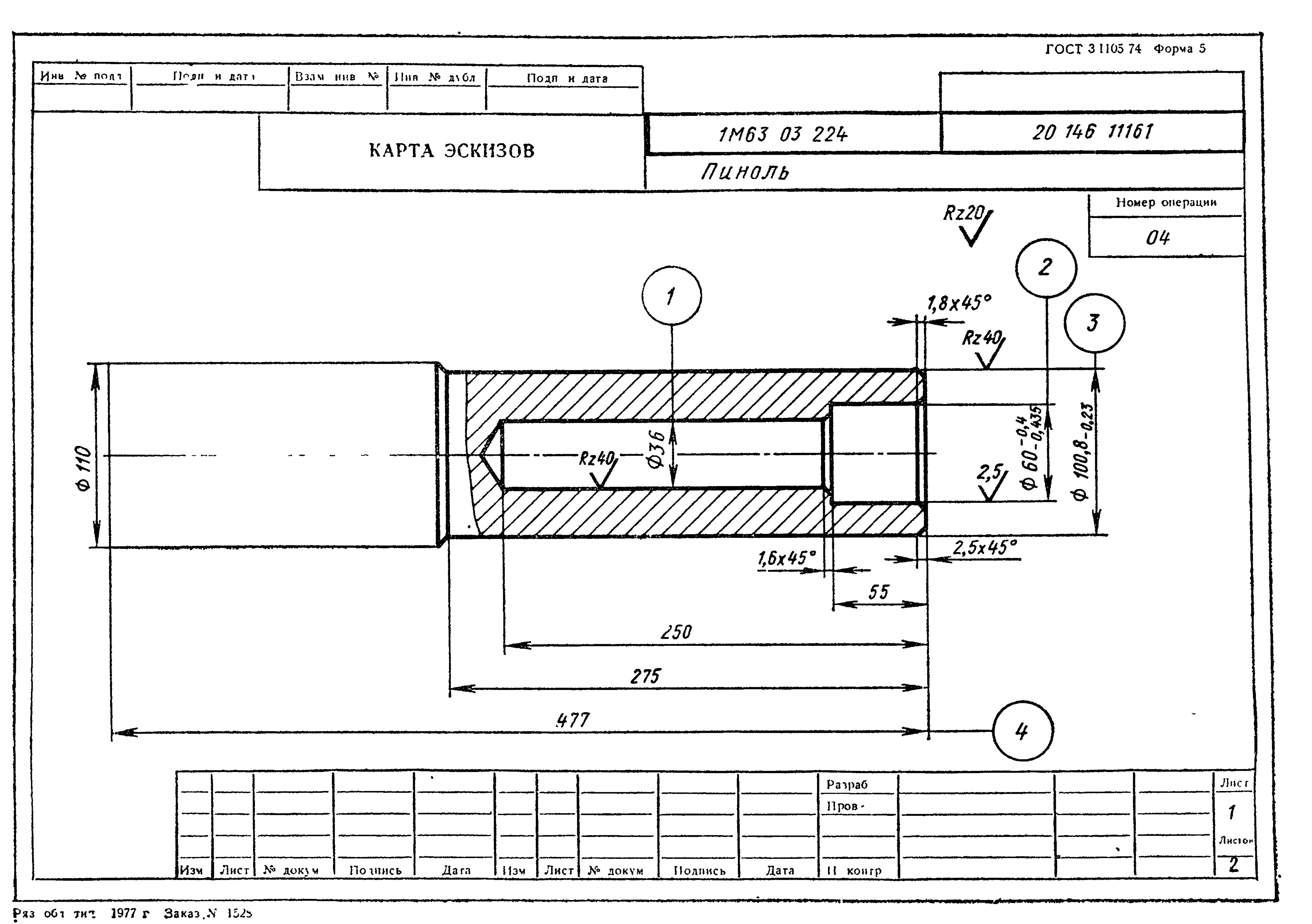
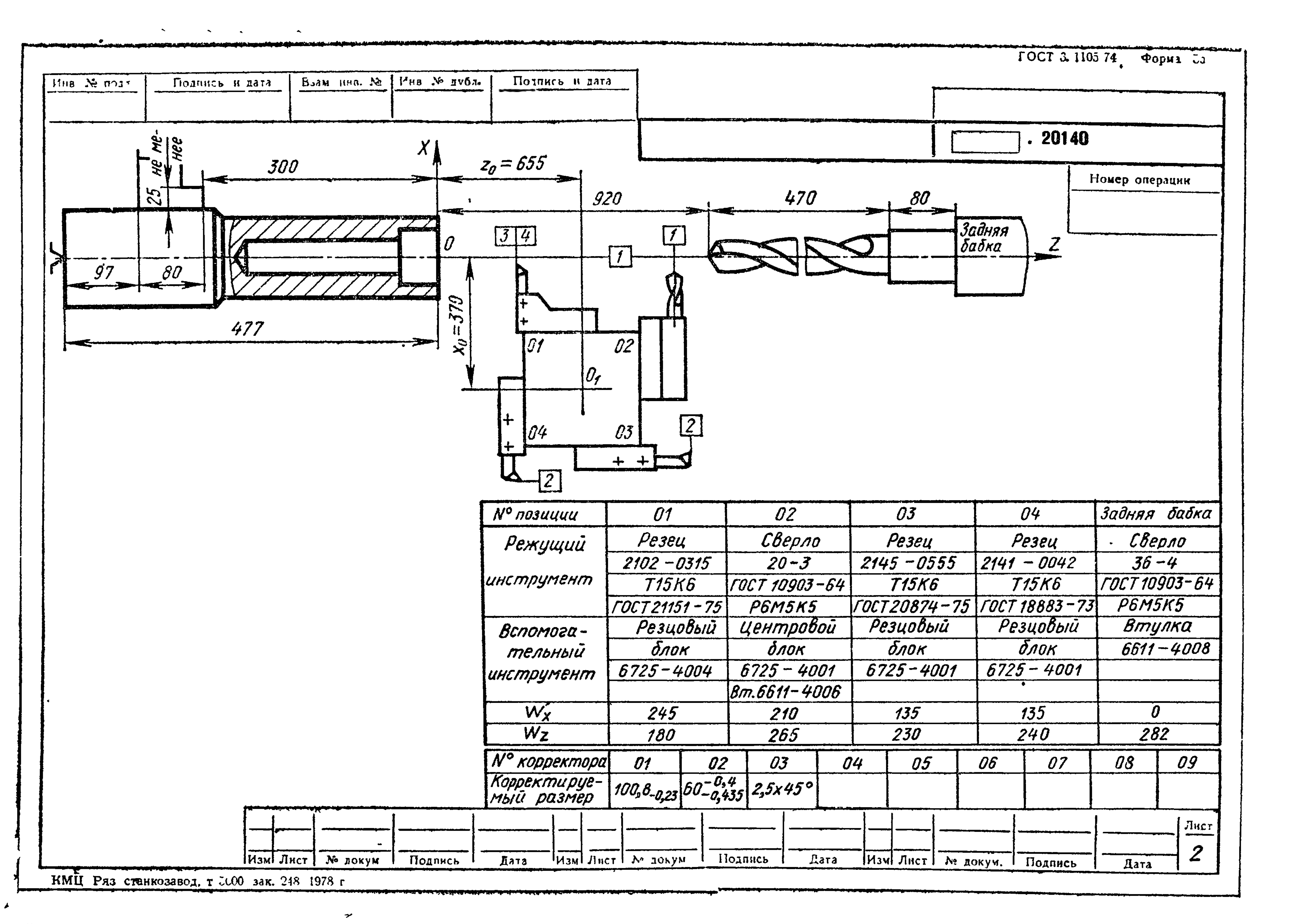


Рис. 82. Карта эскизов



№ позиции	01	02	03	04	Задняя бабка
Режущий инструмент	Резец	Сверло	Резец	Резец	Сверло
	2102 – 0315	20 – 3	2145 – 0555	2141 – 0042	36 – 4
	Т15К6	ГОСТ 10903-64	Т15К6	Т15К6	ГОСТ 10903-64
	ГОСТ 21151-75	Р6М5К5	ГОСТ 20874-75	ГОСТ 18883-73	Р6М5К5
Вспомогательный инструмент	Резцовый	Центровой	Резцовый	Резцовый	Втулка
	блок	блок	блок	блок	6611 – 4008
	6725 – 4004	6725 – 4001	6725 – 4001	6725 – 4001	
		Вт.6611-4006			
W_x	245	210	135	135	0
W_z	180	265	230	240	282

№ корректора	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Корректируемый размер	$100{,}8_{-0{,}23}$	$60^{-0{,}4}_{-0{,}435}$	2,5x45°						

Рис. 83. Карта наладки

к опорным поверхностям резцов неперетачиваемых пластин из твердого сплава.

2. Настроить на приборе вне станка режущий инструмент в координатные размеры, заданные картой наладки. В случае невозможности установки заданных координат привязать к инструменту бирку с указанием разности между фактическим положением вершины инструмента и заданным.

Первые два этапа выполняют заблаговременно, чаще всего на отдельных участках.

3. Расставить инструментальные блоки с настроенными на размер режущими инструментами в рабочие позиции револьверной головки или инструментального магазина.

4. Прикрепить к шпинделю предусмотренное картой наладки зажимное устройство.

5. Подготовить зажимные элементы, например установить кулачки и при необходимости их расточить.

6. Заправить программоноситель в считывающее устройство.

7. Закрепить заготовку в зажимном устройстве.

8. Выполнить пробную обработку детали по схеме, изложенной в § 10 гл. 1.

По результатам контроля первой детали предусмотрен ввод поправок по осям X и Z положения суппорта в нуле программы и коррекции инструментов. Если требуется изменить большинство размеров обработки, то это нужно осуществить за счет смещения положения нуля программы, тогда коррекцию придется вводить только на отдельные инструменты, осуществляющие обработку точных поверхностей.

§ 7. ТОКАРНЫЙ СТАНОК 16К20Ф3

Станок 16К20Ф3 является наиболее массовой моделью отечественного токарного станка. Предназначен станок для выполнения патронных и центровых токарных работ, на нем в полуавтоматическом цикле могут быть обработаны разнообразные наружные и внутренние цилиндрические, конические и криволинейные поверхности, а также нарезаны резьбы.

В зависимости от комплектования устройством ЧПУ модификации станка имеют следующие обозначения: 16К20Ф3С1 — с устройством ЧПУ «Контур 2ПТ», 16К20Ф3С2 — с устройством CC221-02P фирмы Alcatel (Франция), 16К20Ф3С4 — с устройством ЭМ907, 16К20Ф3С5 — с устройством Н22-1М, 16К20Ф3С6— с устройством 1Н22-62, 16К20Т1 — с устройством «Электроника НЦ-31».

Техническая характеристика станка 16К20Ф3С5 приведена в табл. 35. В шпиндельной бабке станка 16К20Ф3 предусмотрено переключение вручную с помощью рукоятки трех диапазонов скоростей, что вместе с девятискоростной АКС с учетом перекрытия некоторых ступеней обеспечивает получение 22 частот вра-

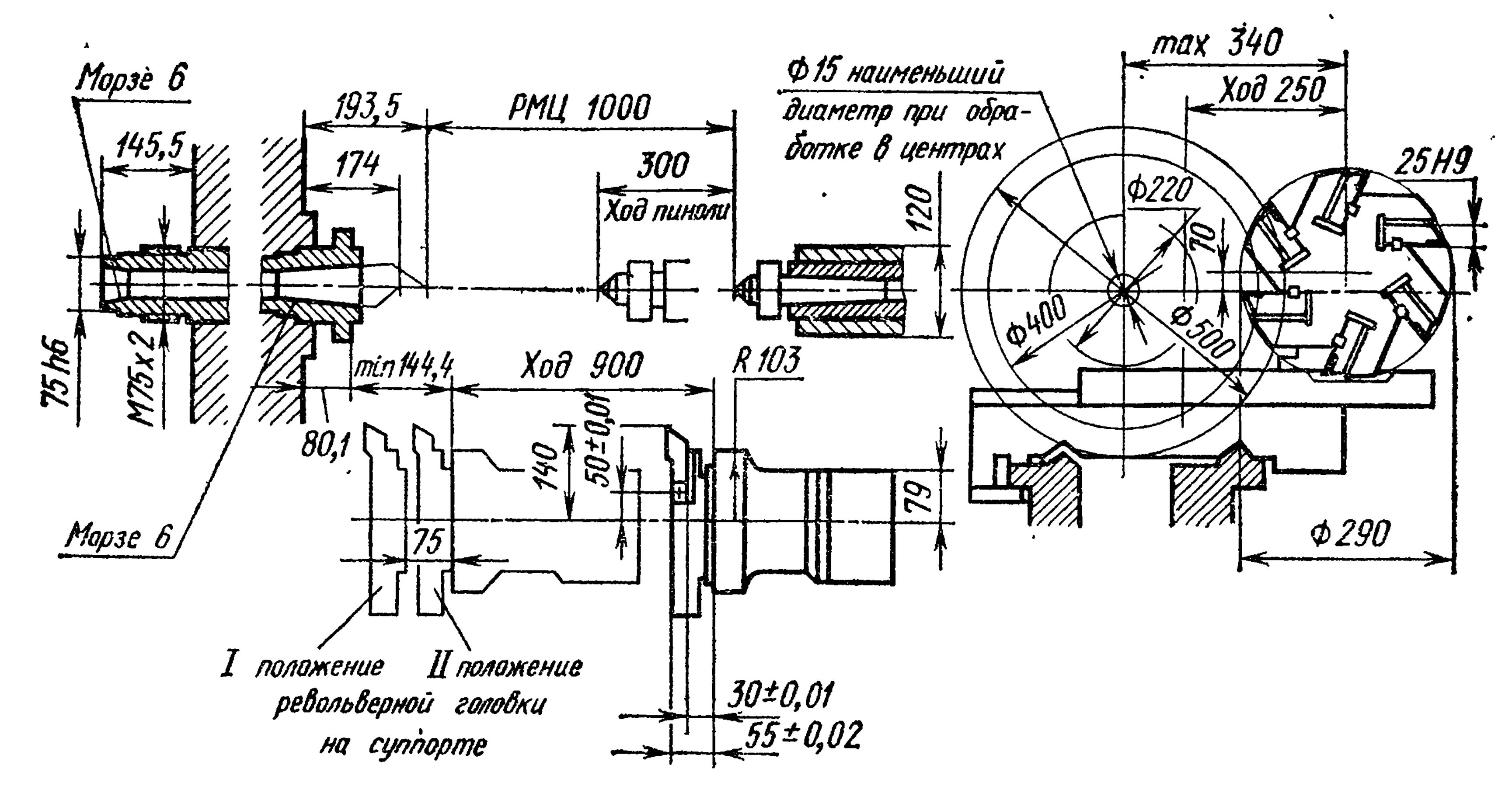


Рис. 84. Технологические возможности и установочные размеры станка 16К20Ф3

щения шпинделя в диапазонах 12,5—200; 50—800; 125—2000 об/мин.

На рис. 84 графически представлены технологические возможности станка 16К20Ф3 исходя из взаимного положения рабочих органов в конечных рабочих положениях. Шпиндель имеет фланцевый конец с условным размером 6 по ГОСТ 12593—72 (с поворотной шайбой) и отверстие с конусом Морзе 6. Наибольший диаметр прутка, проходящего через шпиндель, равен 50 мм. Максимальная высота державки резца равна 25 мм. Поворотная шестипозиционная револьверная головка с горизонтальной осью поворота, параллельной оси шпинделя, имеет на поперечных салазках два смещенных на 75 мм вдоль оси одно относительно другого рабочих положения, в каждое из которых она может быть переставлена по мере необходимости.

Инструментальный диск *9* (рис. 85), на лицевой стороне которого имеются пазы для крепления шести резцов-вставок или резцовых блоков, съемный, он смонтирован на коническом выступе вала *1* и прижат к задней торцовой поверхности подвижного плоскозубчатого колеса *2* полумуфты с выпуклыми круговыми зубьями. В свою очередь, полумуфта жестко скреплена с валом *1*. Неподвижная полумуфта *3* с вогнутыми круговыми зубьями скреплена с корпусом головки *4*.

Момент достижения револьверной головкой требуемой позиции фиксируется срабатыванием герметизированных электрических контактов *7* (герконов) шестипозиционного командоаппарата *5*, на которые воздействует вращающийся синхронно с валом *1* магнит *6*. При достижении заданной позиции включается реле совпадения, которое дает команду на реверс двигателя, но подвижное плоское колесо *2* вместе с инструментальным диском *9* удерживается от поворота фиксатором *8*. По окончании

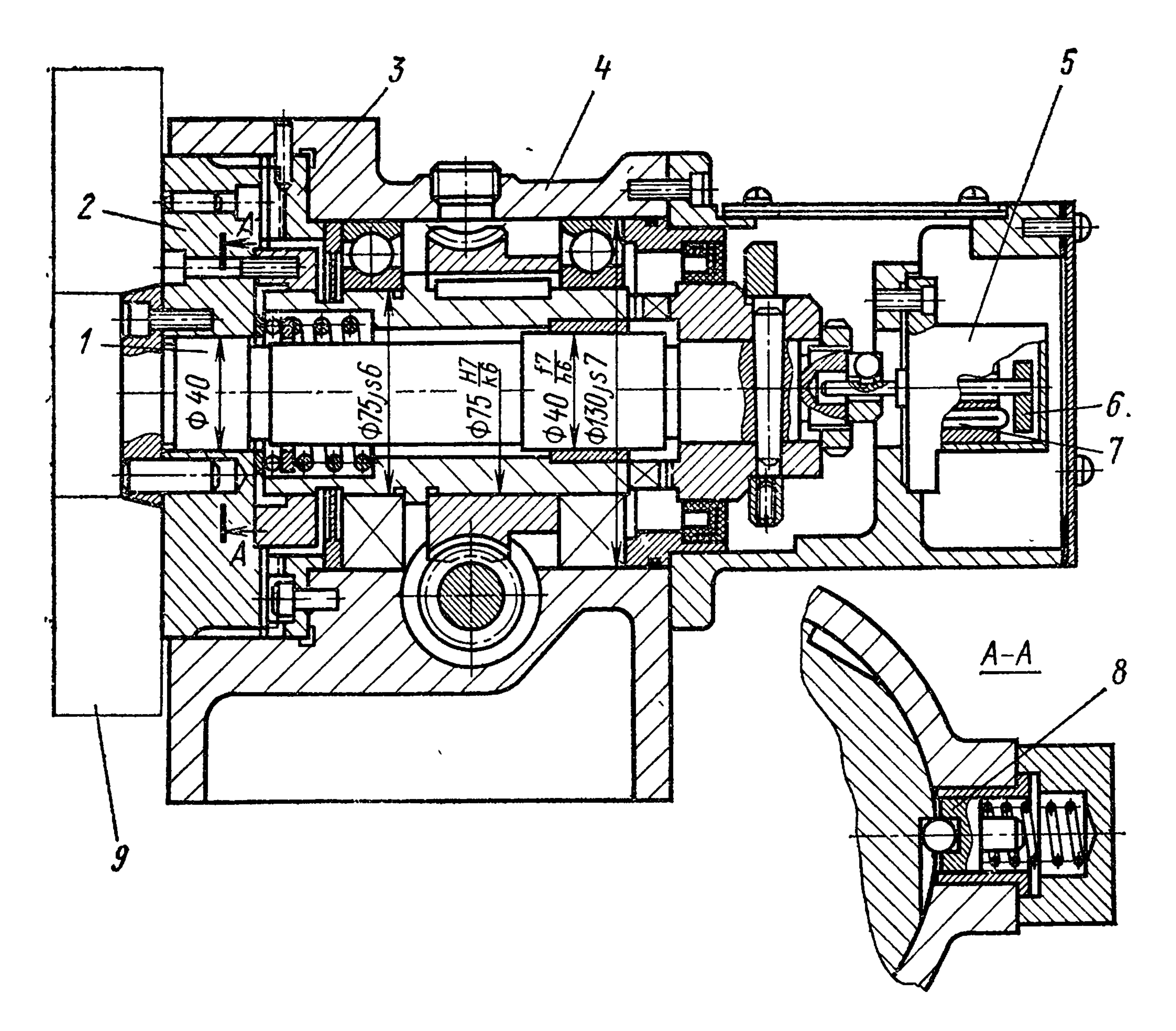


Рис. 85. Револьверная головка станка 16К20Ф3

зажима сигнал от реле максимального тока отключает электродвигатель поворота и дает команду в устройство ЧПУ на продолжение автоматического цикла.

Важное значение для нормальной эксплуатации и сохранения долговечности станка имеет правильное и регулярное смазывание, которое необходимо производить строго в соответствии с картой (табл. 41) и схемой смазывания (рис. 86).

Система смазывания шпиндельной бабки — автоматическая. Шестеренный насос, приводимый во вращение через ременную передачу от электродвигателя главного привода, всасывает масло из резервуара и подает его через сетчатый фильтр к подшипникам шпинделя и зубчатым колесам. Примерно через 1 мин после включения электродвигателя главного привода начинает вращаться диск маслоуказателя *4*. Его постоянное вращение свидетельствует о нормальной работе системы смазывания. При прекращении вращения диска необходимо тут же отключить станок и очистить фильтр, промыв его элементы в керосине. Фильтр следует очищать не только при его засорении, но и регулярно не реже 1 раза в месяц. Из шпиндельной бабки масло через сетчатый фильтр *9* с магнитным патроном сливается в резервуар. Ежедневно перед началом работы необходимо проверять по риске маслоуказателя уровень масла и при необходимости доливать его.

Смазывание направляющих суппорта и станины осуществляется автоматически от станции смазывания, установленной в основании. Шестеренный насос станции включается одновременно с вклю-

чением станка и в дальнейшем периодически по команде от моторного реле времени, с помощью которого устанавливается промежуток времени 10—240 мин между подачами масла. Дозирование подачи масла осуществляется с помощью пневматического реле времени, настроенного на 3—5 с. За это время необходимая порция масла поступает от разветвительной коробки ко всем точкам смазки направляющих. Если необходимо осуществить дополнительную подачу масла к направляющим, следует нажать кнопку «Толчок смазки». Подача масла осуществляется в течение всего времени нажатия кнопки.

Гидрооборудование станка состоит из следующих элементов: гидростанции 7,5/1500 Г48-44, в которую входят резервуар для масла, регулируемый насос с приводным электродвигателем,

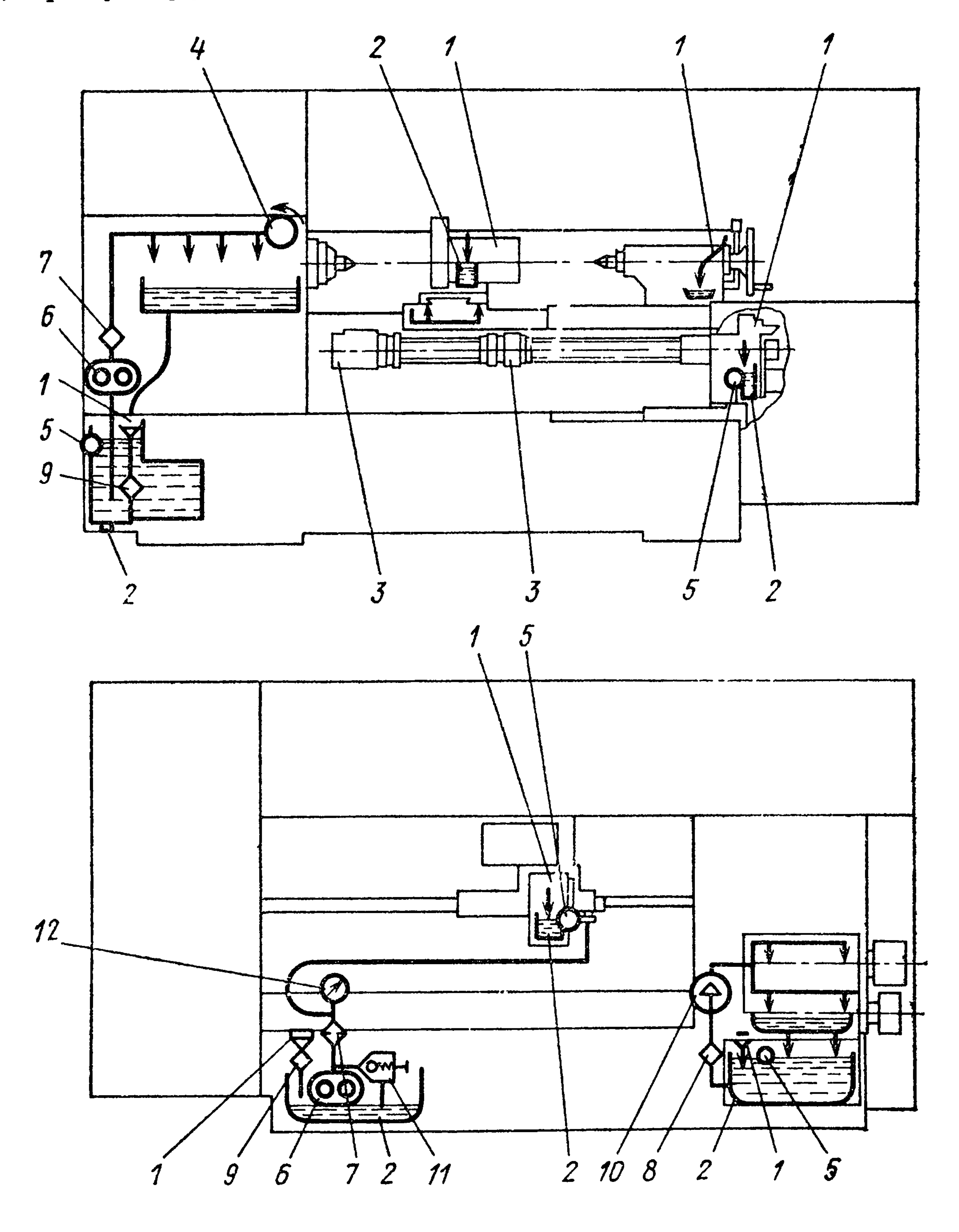


Рис. 86. Схема смазывания:

1 — места заливки масла; *2* — места слива масла; *3* — места заправки консистентной смазки; *4* — визуальный указатель подачи масла; *5* — визуальный указатель уровня масла; *6* — шестеренный насос; *7* — сетчатый фильтр (напорный); *8*, *9* — сетчатые фильтры с магнитным патроном; *10* — лопастной насос; *11* — подпорный клапан; *12* — манометр

41. Карта смазывания и расхода смазочных материалов

Смазываемый механизм	Способ смазывания	Марка смазочного материала	Периодичность замены или смазывания при ручном способе	Количество заливаемого масла, л
Шпиндельная бабка и АКС	Централизованный	Индустриальное И-20А	1 раз в 6 месяцев	20
Каретка		Индустриальное И-30А	2 раза в 6 месяцев	10
Редуктор продольной и поперечной подачи	Разбрызгивание	Индустриальное И-20А	1 раз в 6 месяцев	2
Редуктор поворота револьверной головки		Индустриальное И-30А	1 раз в месяц	0,5
Винтовые пары	Ручной	ЦИАТИМ 201	1 раз в 6 месяцев	0,5
Задняя бабка		Индустриальное И-30А	Ежедневно	0,5
Правая опора продольного винта		Индустриальное И-20А	1 раз в 6 месяцев	2
Левая опора продольного винта		ЦИАТИМ 201	1 раз в 6 месяцев	0,5

элементы фильтрации и охлаждения рабочей жидкости, контрольно-регулирующая аппаратура; гидропривода продольного хода каретки Э32Г18-23; гидропривода поперечного хода суппорта Э32Г18-22; магистральных трубопроводов, соединяющих между собой гидравлические узлы и аппаратуру.

Подробное описание работы, наладки и обслуживания гидрооборудования дано в § 4—8 гл. V.

Станок устанавливают на бетонном полу цеха (без специального фундамента) и закрепляют четырьмя фундаментными болтами. Выверку станка с точностью 0,02 мм на 1000 мм следует производить с помощью клиньев или башмаков по уровням, расположенным на суппорте параллельно и перпендикулярно оси центров, перемещая суппорт на всю длину хода.

Пусковые работы выполняют в соответствии с общими указаниями, приведенными в §§ 3 и 4 гл. II. Устройство ЧПУ необходимо соединить со станком с помощью кабелей, входящих в комплект станка. Для устройства Н22-1М таких кабелей семь.

На включенном станке в режиме «Ручное управление» с помощью тумблеров осуществить перемещения по осям X и Z в обоих направлениях по всей возможной длине хода на быстром ходу и рабочих подачах. От кнопок пульта управления станком проверить работу остальных механизмов и систем станка: подачу масла в шпиндельную бабку, в АКС и к направляющим, переключение скоростей шпинделя, работу поворотной револьверной головки, работу аварийных и блокировочных выключателей, подачу охлаждающей жидкости. Обкатать шпиндель станка на минимальной скорости в течение 30 мин, а затем последовательно кратковременно на всех остальных частотах вращения.

Проверить работу станка в режиме ручного ввода. Завершаются пусконаладочные работы проверкой геометрической точности станка, работой по тест-программе и обработкой образцов.

§ 8. УПРАВЛЕНИЕ СТАНКАМИ 16К20Ф3С5 И 16К20Т1

Станок 16К20Ф3С5 имеет следующие органы управления (рис. 87): пульт на станке, рукоятки, маховички и выключатели на станке, а также три пульта управления устройством ЧПУ Н22-1М: оператора, технологический (коррекций) и пульт на устройстве управления шаговыми приводами (пульт УУШП).

Органы управления пульта на станке представлены на рис. 88. Пульт оператора устройства ЧПУ предназначен для задания режимов работы системы станок—устройство ЧПУ; ступенчатого регулирования величины подачи в пределах 0—120 %; индикации следующих характеристик: положения, технологической

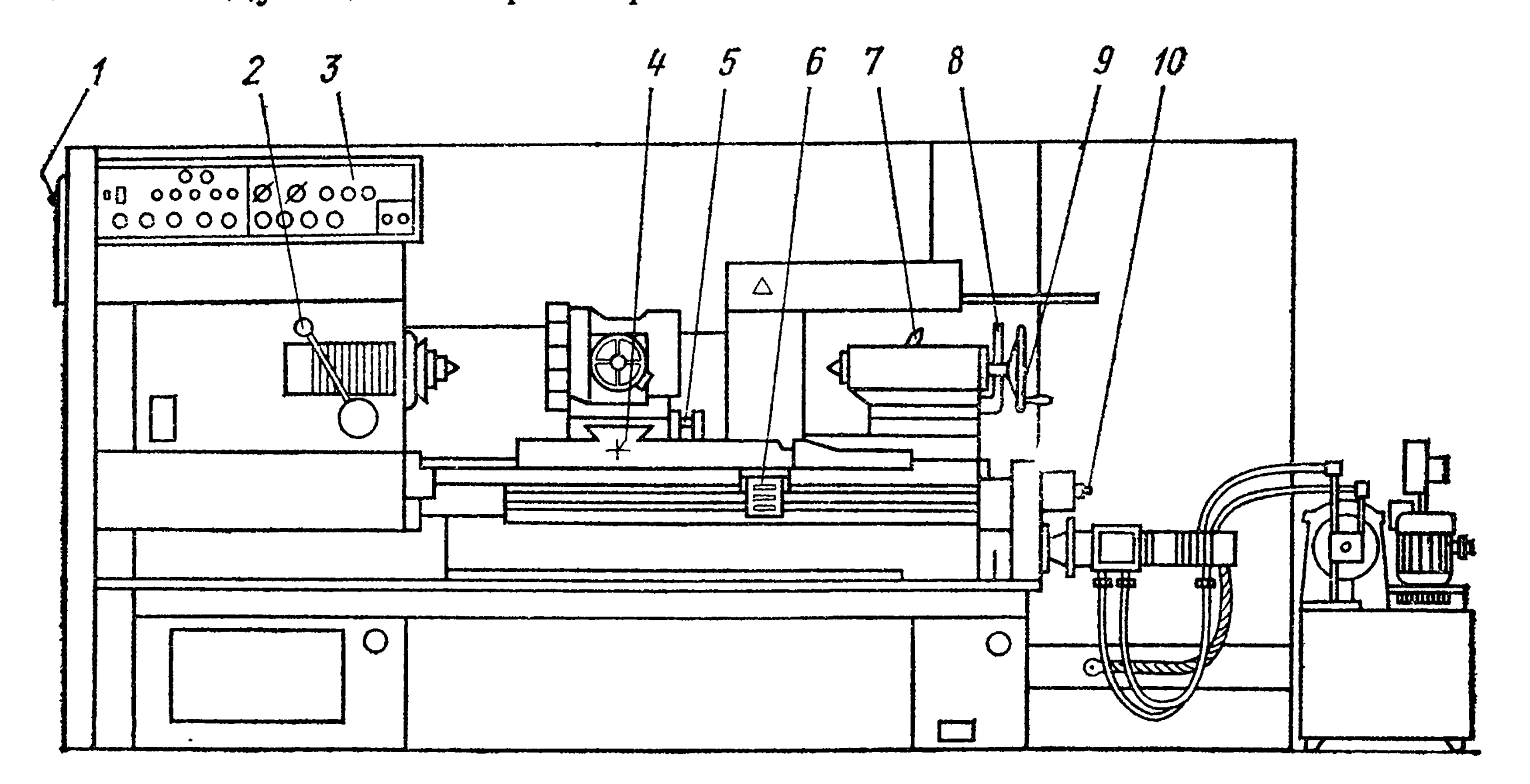


Рис. 87. Органы управления станком 16К20Ф3С5:

1 — вводной автомат; *2* — рукоятка переключения диапазонов скоростей шпинделя; *3* — пульт на станке; *4* — гнездо для съемной рукоятки поперечного перемещения суппорта; *5*, *6* — блоки конечных выключателей поперечного и продольного перемещения суппорта; *7* — рукоятка зажима пиноли задней бабки; *8* — рукоятка закрепления задней бабки; *9* — маховичок перемещения пиноли задней бабки; *10* — хвостовик под рукоятку продольного перемещения суппорта

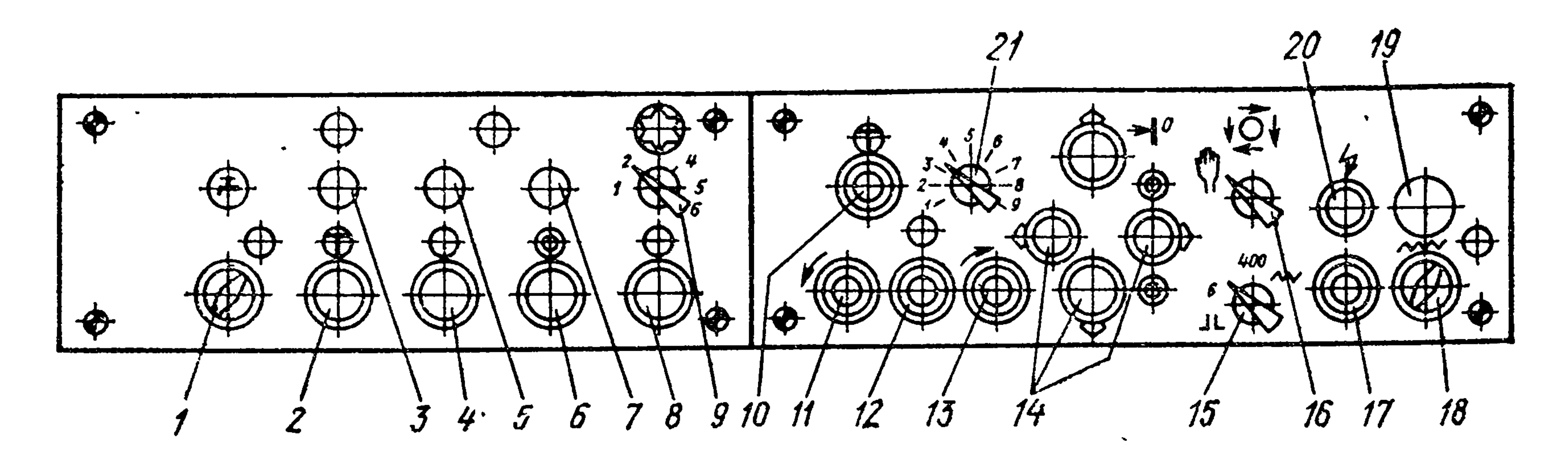


Рис. 88. Пульт управления на станке 16К20Ф3С5:

Переключатели: *1* — охлаждения; *9* — позиций револьверной головки; *15* — режима ручного перемещения с тремя разными скоростями; *16* — режима работы станка — «Ручное управление» и «От устройства ЧПУ»; *18* — «Стоп подачи»; *21* — ступеней частот вращения шпинделя.

Кнопки: *2* — «Толчок смазки»; *4* — «Пуск гидроагрегата»; *6* — «Стоп гидроагрегата»; *8* — поворот револьверной головки; *10* — «Толчок шпинделя»; *11* — прямое вращение шпинделя; *12* — «Стоп шпинделя»; *13* — обратное вращение шпинделя; *14* — рабочая подача в каждом из четырех направлений; *17* — «Пуск программы»; *19* — «Аварийный стоп».

Лампы: *3* — «Контроль смазки»; *5* — «Масло разогрето»; *7* — «Подогрев масла»; *20* — наличие напряжения

информации, сбоев, ответов от станка и сигналов, указывающих на нормальное функционирование системы станок—УЧПУ.

На панели пульта оператора расположены (рис. 89) кнопки «Пуск» и «Стоп» — для запуска и останова устройства в режиме программного управления; кнопки «Привод», «Логика» — для установки в исходное положение устройства управления шаговыми приводами и логических цепей интерполятора в режиме «Сброс»; девятипозиционный переключатель «Режим» — для выбора режима работы устройства и ряд клавиш («Пропуск кадра»; «Останов в конце кадра» и «Технологический останов») для осуществления по выбору подрежимов работы станка. Тумблеры «6 Гц — 400 Гц», « $\pm X$» и « $\pm Z$» предназначены для задания без-

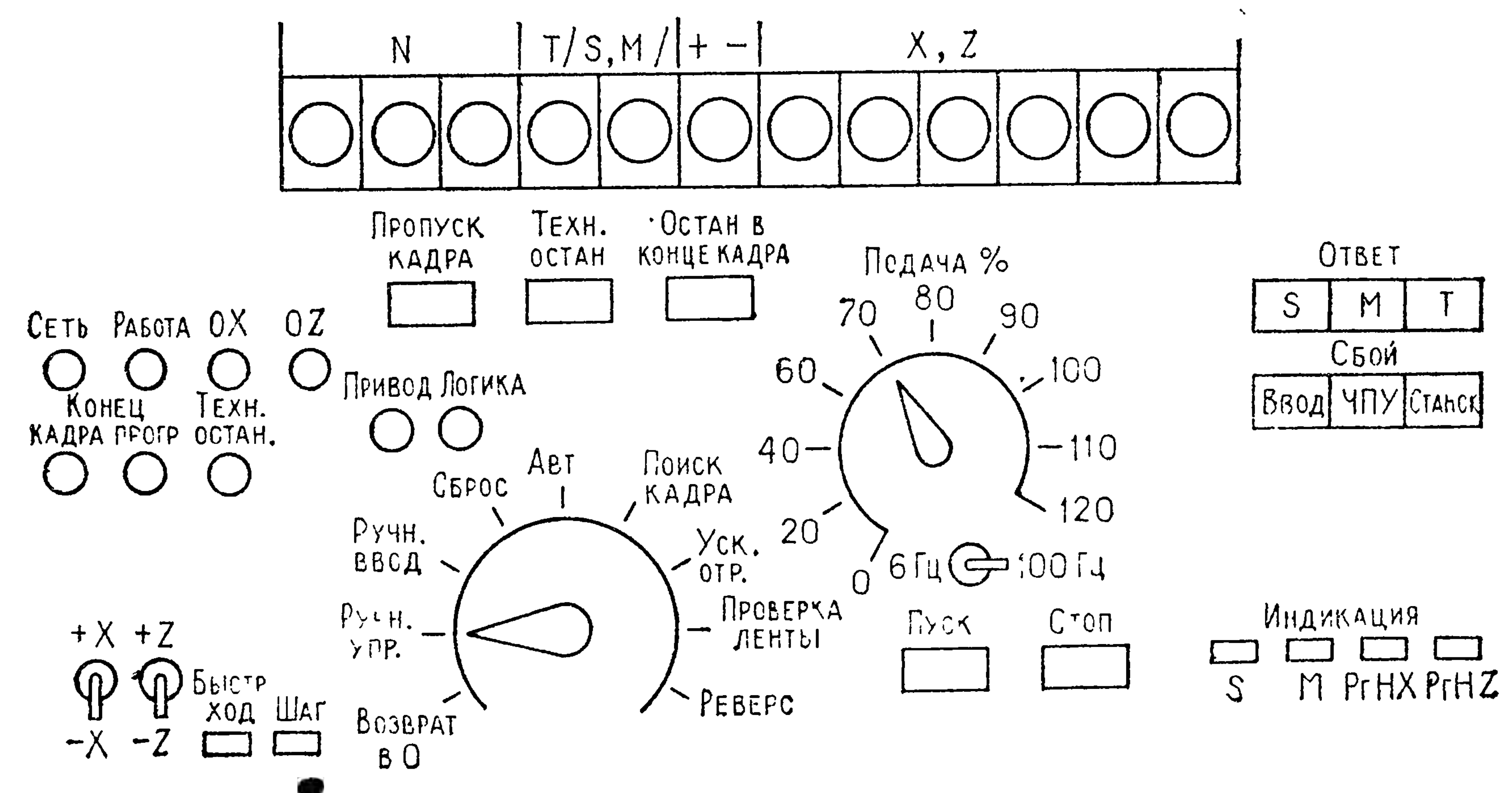


Рис. 89. Пульт оператора устройства Н22-1М

размерного перемещения по соответствующим координатам в обоих направлениях при ручном управлении.

Слева на пульте размещены семь круглых ламп индикации нормальной работы: «Сеть», «Работа», «*OX*», «*OZ*», «Конец кадра», «Конец программы», «Технологический останов». Справа в верхнем ряду размещены три прямоугольные лампы индикации ответов от станка («*S*», «*M*», «*T*») и в нижнем ряду лампы сбоев: «Ввод», «ЧПУ», «Станок». Справа внизу пульта имеется клавишный переключатель «Индикация» на четыре клавиши. Клавиши «*S*» и «*M*» вызывают по выбору на табло цифровой индикации технологическую информацию по одному из этих адресов взамен обычно высвеченной информации по адресу «*T*», клавиши «*PгHX*» и «*PгHZ*» предназначаются для подключения к ячейкам цифровой индикации информации в регистрах по координатам *X* и *Z*.

Табло цифровой индикации размещено над панелью пульта оператора. Три первые левые ячейки цифровой индикации служат для высвечивания номера кадра, две следующие — для индикации технологических команд *T*, *S*, *M* (по выбору), шестая ячейка — для знака геометрической информации (+ или —), шесть последних ячеек — для индикации численной величины геометрической информации.

Девятипозиционный переключатель задает следующие режимы: 1) «Автомат» («Авт.») — отрабатывается вся программа с перфоленты с возможностью останова в конце любого кадра; 2) «Поиск кадра» — на перфоленте находится кадр, соответствующий номеру, заданному на технологическом пульте; 3) «Ускоренная отработка» («Уск. отр.») — отработка программы ведется на скорости 600 мм/мин по обеим координатам, независимо от величины рабочей подачи, предусмотренной программой; 4) «Проверка ленты» — происходит контроль ленты по структуре и паритету; 5) «Ручное управление» («Ручн. упр.») — можно производить ручное безразмерное перемещение рабочих органов станка; 6) «Ручной ввод» (преднабор) — можно производить ручной ввод информации в объеме одного кадра; 7) «Возврат в 0» — происходит на скорости быстрого хода автоматический выход суппорта в нулевое положение станка; 8) «Сброс» — путем нажатия кнопок «Логика» и «Привод» происходит установка устройства и приводов подач в исходное состояние; 9) «Реверс» — обратная перемотка перфоленты до начала программы (до символа «%»).

При работе в режиме «Автомат» возможна работа в двух подрежимах в зависимости от положения клавиши «Останов в конце кадра»: а) отработка программы — автоматическое считывание всех кадров управляющей программы до конца программы, при этом клавиша «Останов в конце кадра» не нажата; б) отработка программы по кадрам (полуавтоматический подрежим) — автоматическое покадровое считывание и покадровая отработка информации при нажатой клавише «Останов в конце кадра», запуск следующего кадра осуществляется от кнопки «Пуск».

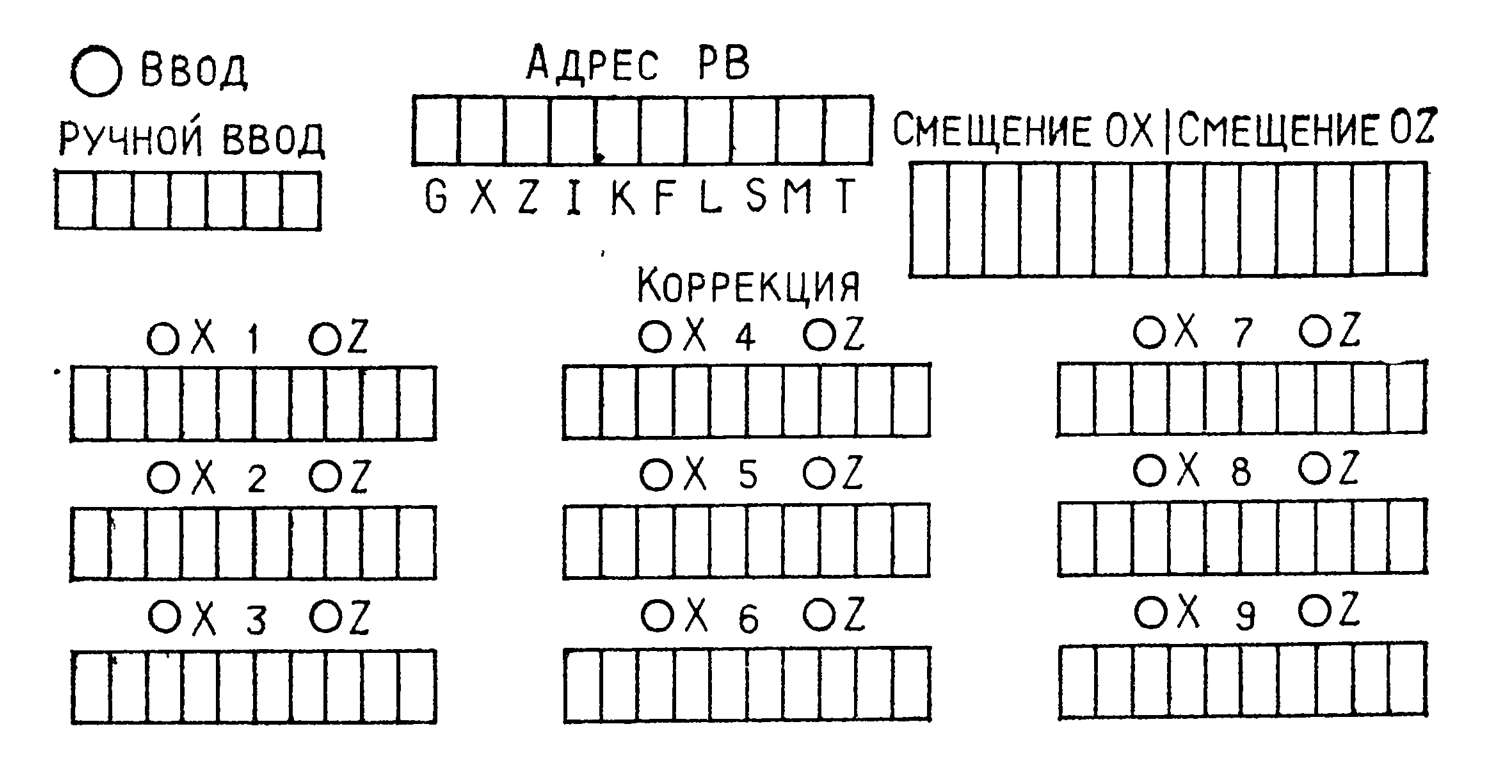


Рис. 90. Технологический пульт устройства Н22-1М

Технологический пульт предназначен для ввода в устройство информации (по адресу *L*) о величинах коррекции инструментов, смещения нуля (по команде *G*58) и ручного ввода программы (рис. 90).

На пульте расположены кнопка «Ввод» — для ввода в устройство ЧПУ информации, набранной на декадных переключателях ручного набора по выбранному адресу; клавиши «Адрес РВ» (ручного ввода) — для выбора адреса вводимой информации при ручном вводе; декадные переключатели «Ручной ввод» для набора знака и цифровой информации при ручном вводе; декадные переключатели «Смещение *OX*», «Смещение *OZ*» — для задания смещения нуля; декадные переключатели коррекции — две группы для осей *X* и *Z* по девять номеров в каждой группе. Наибольшее значение коррекции ±99,99 мм. Коррекция осуществляется автоматически по вызову номера корректора, заданного управляющей программой по адресу *L*.

На пульте УУШП расположены тумблер «Работа—Проверка»— в положении «Работа» разрешен прием сигналов от интерполятора и формирование их для выдачи на шаговые двигатели; кнопки «Вкл» и «Выкл» — для включения и выключения устройства ЧПУ, тумблер «ФСУ» включения фотосчитывающего устройства.

Переключатель режимов на пульте станка в положении «Ручное управление» блокирует все режимы с пультов устройства ЧПУ, позволяя осуществлять работу в ручном режиме только от кнопок и переключателей пульта станка.

Для выполнения ручного ввода информации необходимо проделать следующие операции.

1. Переключатель режимов поставить в положение «Ручной ввод».

2. На переключателе «Адрес РВ» (технологический пульт) нажать клавишу нужного адреса.

3. Набрать на декадных переключателях «Ручной ввод» требуемую числовую информацию по данному адресу.

4. Нажать кнопку «Ввод».

5. Повторить операции пп. 2, 3 и 4 последовательно по всем адресам вводимого кадра.

6. Для отработки кадра нажать кнопку «Пуск» на пульте оператора.

Модификация станка 16К20Т1 с устройством ЧПУ «Электроника НЦ-31» предназначена для использования в единичном и мелкосерийном производстве. Основной характерной чертой станка является возможность создать программу непосредственно на рабочем месте путем ввода поочередно отдельных кадров УП с пульта оператора устройства ЧПУ или путем запоминания действий станка, отрабатываемых в режимах ручного управления от клавиш или от маховичка.

Малогабаритное устройство ЧПУ на базе микро-ЭВМ с размерами 480×333×300 мм встроено в нишу фартука станка. Лицевую сторону устройства занимает пульт оператора, с которого осуществляется управление станком. На пульте размещены клавиши и индикаторы. Клавиши разделены на пять групп: слева клавиши выбора направления движения в ручном режиме и от маховичка; под ними клавиши перемещения в ручном режиме; в центре клавиши выбора режимов работы; под ними клавиши исполнения команд; справа клавиши для ввода в память устройства буквенных адресов, числовых значений и признаков.

Каждый из режимов работы станка задается нажатием клавиши, предыдущий режим при этом отменяется. Можно осуществлять работу в следующих режимах: от маховичка; ручное управление от клавиши; автоматический; вывод из памяти кадров УП; ввод в память кадров УП; размерная привязка инструмента.

Автоматический режим имеет два подрежима: покадровой отработки; отработки УП без перемещения суппорта.

Устройство индикации разделено на три части: слева — четырехразрядный цифровой индикатор подачи, задаваемой в миллиметрах на оборот; в центре — трехразрядный цифровой индикатор номера кадра; справа — шестиразрядный индикатор числовой части буквенных адресов со знаком в крайней левой (седьмой) позиции.

Кроме цифровой индикации имеется еще несколько лампочек — индикаторов признаков, таких как ошибка в УП, перегрузка приводов подач, неисправность в электроавтоматике или в устройстве ЧПУ.

При включении устройства автоматически осуществляется диагностическая проверка исправности станка и устройства ЧПУ. На индикаторах подачи и номера кадра последовательно высвечиваются цифры, показывающие ход циклов проверки. Один полный цикл проверки занимает примерно 2 мин, после чего он вновь повторяется. Прохождение теста проверки можно прервать нажатием клавиши «Пуск рабочего цикла», после чего УЧПУ переходит в режим работы со станком. Если же обнаружи-

ваются неисправности, то загораются все буквенные индикаторы, мигают лампочки-индикаторы над клавишами и на индикаторе чисел высвечивается код неисправности. По специальным таблицам можно определить причину неисправности, способ ее устранения, который зачастую доступен оператору, или неисправную ячейку УЧПУ. В последнем случае ремонт выполняет специально обученный персонал.

Диагностический тест работает также в непрерывном фоновом режиме. При этом выявляются как возникшие в ходе работы неисправности оборудования, так и ошибки, допущенные оператором при вводе УП. При обнаружении таких ошибок начинает мигать индикатор «Внимание», и на индикации чисел возникают цифры, характеризующие код ошибки или неисправности.

Формирование УП облегчено за счет использования заложенных в функционально-программном обеспечении устройства технологических циклов (*G*-циклов). Циклы бывают одно- и многопроходные. В отдельные циклы собраны наиболее часто повторяющиеся виды токарной обработки: точение по цилиндру; точение по торцу; резьбонарезание резцом; резьбонарезание резцом и плашкой; глубокое сверление отверстий; точение по цилиндру и торцу; точение по цилиндру, конусу и торцу; прорезание канавок и др. Циклы вводятся в память устройства в диалоговом режиме: после ввода номера цикла буквенные адреса автоматически высвечиваются приглашением для ввода числовой части параметра и необходимых признаков.

Текущая УП находится в рабочей зоне памяти УЧПУ. Кроме этого, имеются еще четыре зоны, образующие архив управляющих программ. Хранение программ возможно также на кассете внешней памяти (КВП) с подпиткой. Кассету удобно использовать как оперативный носитель между УЧПУ станка и устройством подготовки УП или постоянным архивом программ, находящимся, например, на магнитном носителе.

§ 9. РЕГУЛИРОВКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СТАНКА 16К20Ф3. НЕИСПРАВНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

1. **Регулировка положения путевых кулачков на продольной и поперечной линейках** (рис. 91). На каждой линейке предусмотрены два паза для установки кулачков *1* и *4* аварийного отключения подачи и паз для кулачка *3* контроля суппорта в нуле станка. Кулачки воздействуют на блок *2* путевых конечных выключателей, смонтированных на каретке станка (см. рис. 87). Кулачки аварийного отключения призваны выключить подачу за 5—8 мм до упора суппорта в крайние положения или инструмента в кулачки патрона. При этом устройство ЧПУ и станок не отключаются, на пульте оператора УЧПУ загорается лампа сбоя «Станок».

Сдвоенный кулачок *3* длинной частью дает команду на предварительное замедление перемещений суппорта и каретки. При

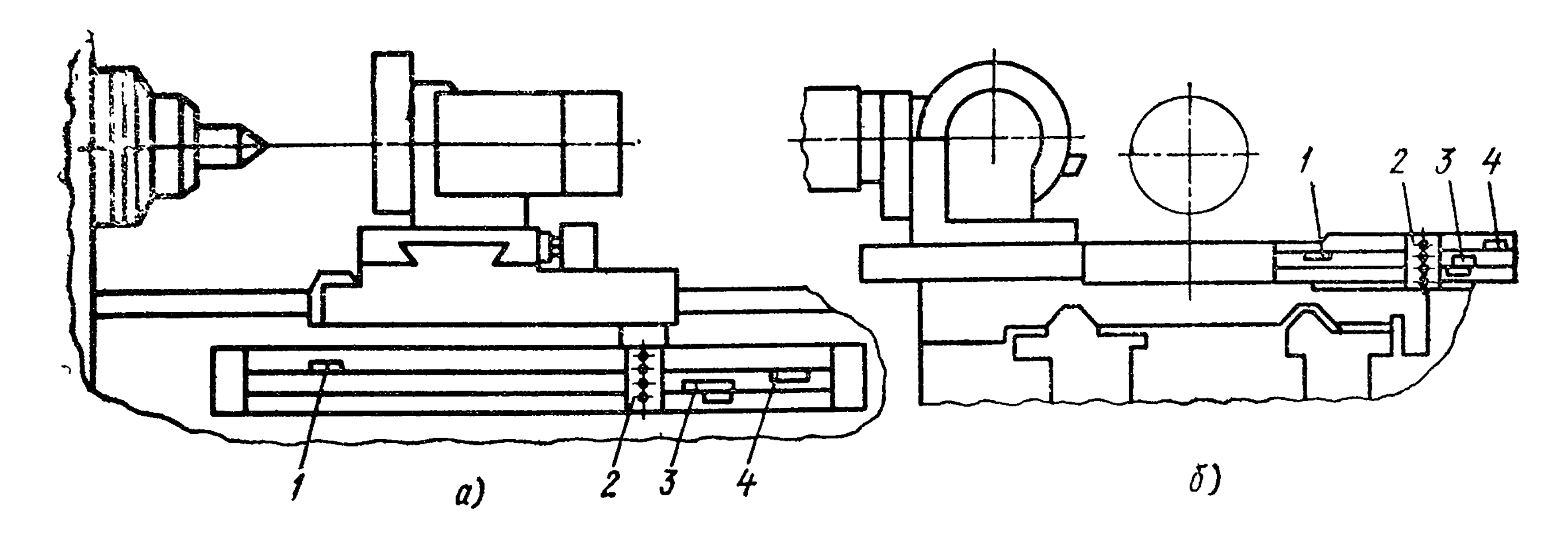


Рис. 91. Схема расстановки путевых кулачков на продольной (*а*) и поперечной (*б*) линейках

этом он нажимает третий сверху шток блока конечных выключателей. Второй скос сдвоенного кулачка нажимает четвертый шток блока конечных выключателей и включает вторую ступень замедления. После этого срабатывает бесконтактный датчик, и происходит точный останов суппорта в нуле станка.

Регулировка кулачками сводится к расстановке их в необходимых положениях и укреплении в пазах линеек.

2. **Регулирование привода поперечной подачи.** Привод поперечной подачи станка 16К20Ф3С5 представлен на рис. 92. Передний конец шарикового винта *7* установлен в двух радиальных подшипниках *11* и двух упорных *9*. Сами подшипники размещены в корпусе привода *19* и кронштейне *10*. Необходимые радиальный и осевой натяги в подшипниках достигаются сжатием соответственно пружин *21* и *8*. Усилие сжатия пружин *8* должно быть таким, чтобы не происходило раскрытия стыка между правым торцом гайки *23* и торцом втулки *22*. Задний конец винта *7* поддерживается втулкой *31*, запрессованной в расточку каретки *1*.

Корпус шариковой гайки *6* жестко прикреплен к поперечным салазкам *2* клином *5* с винтом *4*. Для правильного крепления гайки необходимо выполнить следующие работы: с помощью набора плоскопараллельных концевых мер длины замерить размер *а* от корпуса гайки *6* до торца выточки в салазках *2*, обеспечивающих правильное положение оси винта по высоте; прошлифовать с допуском ±0,01 мм нижний торец фланца *3* в размер *а* и установить его на месте; затянуть клин *5* винтом *4*, жестко скрепив корпус гайки *6* с фланцем *3*.

Зазор в зубчатом зацеплении колес *12* и *20* регулируется смещением фланца *18* крепления электрогидропривода *17*. Осевое положение закрепленного на правом торце шарикового винта алюминиевого флажка *16* относительно прорези в бесконтактном датчике нулевого положения *15* регулируется вывинчиванием-завинчиванием шпильки *13*. Гайка *14*, контрящая шпильку, одновременно служит для крепления на коническом хвостовике шарикового винта зубчатого колеса *12*.

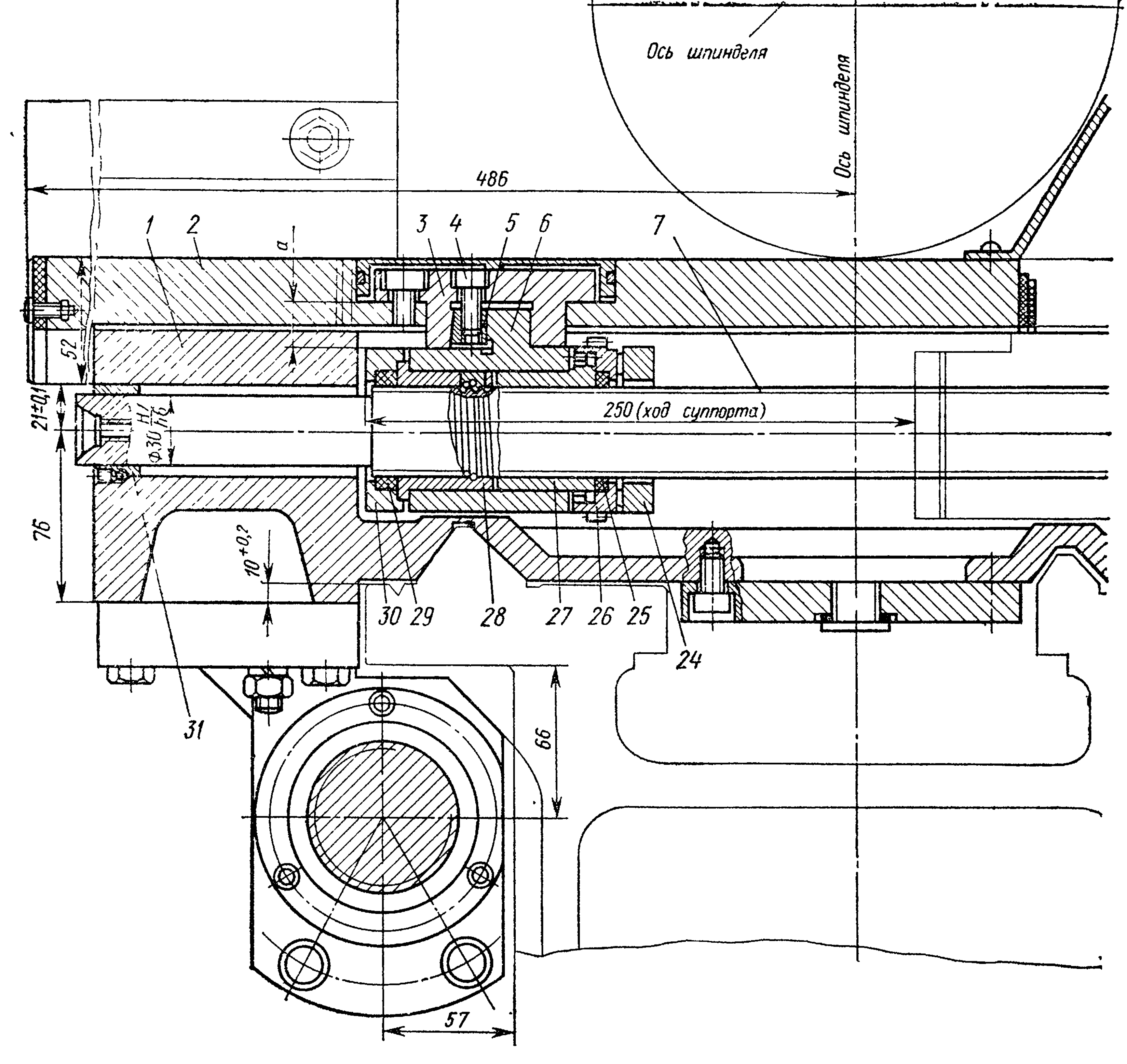
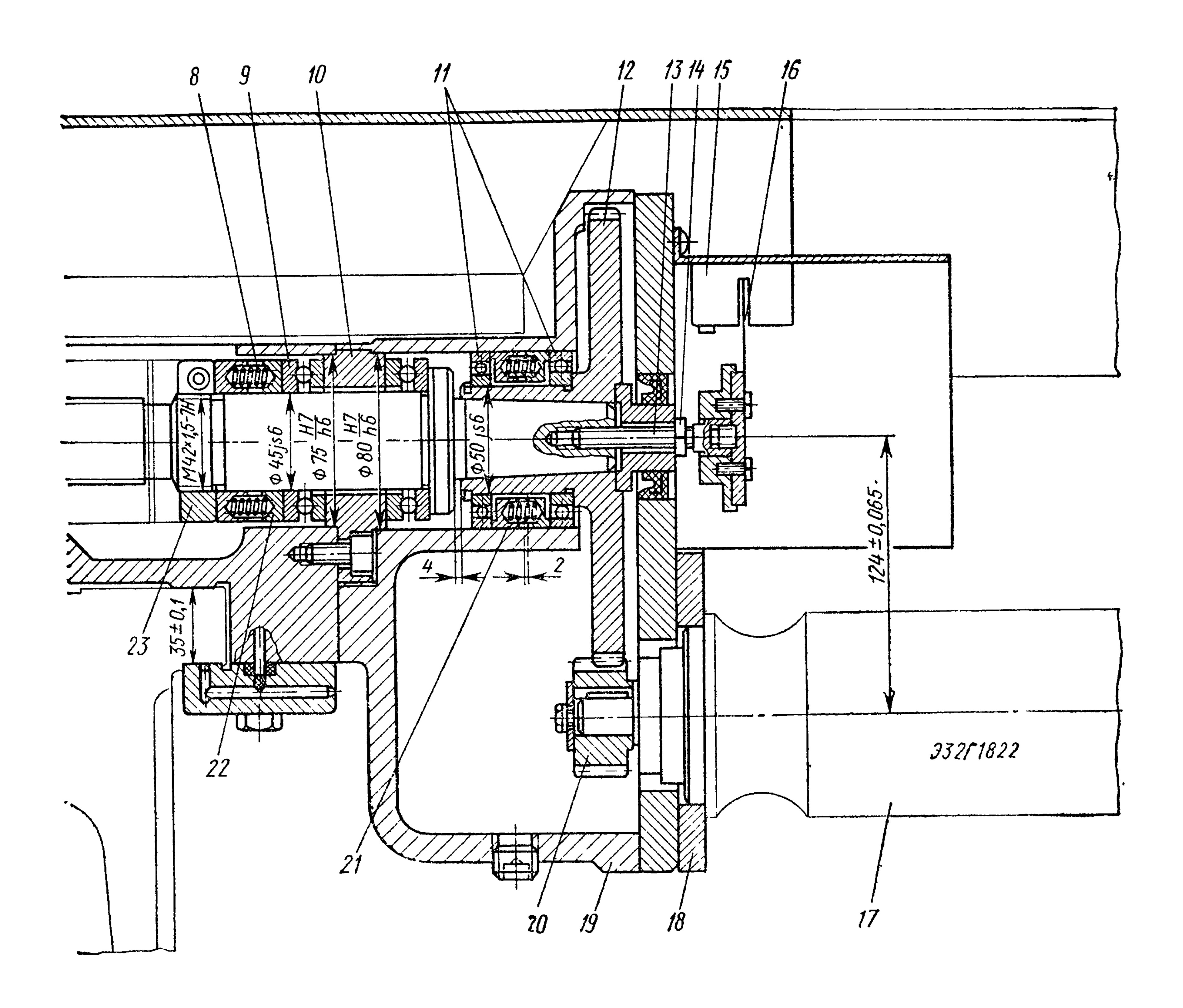


Рис. 92. Привод

Выбор зазора и регулировка натяга в винтовой паре поперечного перемещения производится поворотом гайки *27* относительно гайки *28* с помощью промежуточного зубчатого колеса *26*, имеющего внутренний венец с 73 зубьями (зацепляется с гайкой *27*) и наружный венец с 72 зубьями (зацепляется с не показанным на рисунке зубчатым сектором, скрепленным с корпусом *6*). Поворот колеса *26* на один зуб приводит к осевому смещению резьбы гайки *27* относительно резьбы гайки *28* на 1 мкм. Для сближения витков следует переставить колесо *26* в обоих зацеплениях на одно и то же число зубьев по часовой стрелке. Гайка защищена уплотнениями *25* и *29* в выточках крышки *30* и колеса *26*.

Натяг следует регулировать в следующем порядке: отвернуть винты и сдвинуть по шариковому винту крышку *24*; вывести колесо *26* из зацепления с гайкой *27* и корпусом *6*, провернуть колесо *26* по часовой стрелке на нужное число зубьев; специальным ключом довернуть в ту же сторону гайку *27*; ввести в зацепление



поперечной подачи

42. Основные неисправности станка 16К20Ф3С5

Внешнее проявление	Причина	Метод устранения
Инструментальный диск вращается непрерывно и не фиксируется в требуемой позиции	Прижим фиксатора не обеспечивает жесткой фиксации	Заменить пружину фиксатора *8* (см. рис. 85) на более сильную
Вибрации при резании, заметный зазор при покачивании инструментального диска в зафиксированном положении	Ослабло крепление неподвижного плоского колеса *3* (см. рис. 85) к корпусу револьверной головки	Затянуть винты крепления, перештифтовать
Увеличенная зона нечувствительности по оси *X*	Нарушение регулировки привода поперечных подач	Выполнить регулировочные работы по описанной выше методике
Нарушения в работе гидропривода станка	Одна из причин, изложенных в § 8 гл. V	Выполнить рекомендации, указанные в гл. V

колесо *26* с гайкой *27* и корпусом гайки *6*; надеть крышку *24* и притянуть ее винтами.

Правильно отрегулированный привод обеспечивает четкую отработку единичных импульсов, величину зоны нечувствительности в пределах 0,016 мм и стабильный возврат в ноль по оси X с точностью $\pm 0{,}002$ мм.

Основные неисправности станка 16К20Ф3С5 и методы их устранения приведены в табл. 42.

Глава X

РАСТОЧНЫЕ И СВЕРЛИЛЬНЫЕ СТАНКИ

§ 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСТОЧНЫХ И СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Расточные станки с ЧПУ можно разделить на две основные группы, каждая из которых характеризуется расположением шпинделя: горизонтальным или вертикальным.

Горизонтально-расточные станки с ЧПУ (табл. 43) имеют рабочий стол с вертикальной осью поворота, фиксирующийся, как минимум, в четырех положениях под углом 90° от технологических команд управляющей программы. Иногда поворот стола выступает в роли четвертой управляемой координаты.

От станков с ручным управлением станки с ЧПУ заимствовали в качестве дополнительной управляемой координаты перемещение выдвижного (расточного) шпинделя. Этот шпиндель размещается в полом шпинделе и может по командам от программы, а также в режиме ручного управления выдвигаться из полого шпинделя на довольно значительную величину, превышающую обычно половину ширины стола.

Таким образом, горизонтально-расточные станки имеют от трех до пяти управляемых координат. Кроме автоматизации рабочих перемещений в станках автоматизировано изменение скоростей шпинделя и подач рабочих органов, зажим и разжим рабочих органов после позиционирования и перед осуществлением перемещения, включение и выключение охлаждения. Вне автоматизации остается только смена инструмента.

Вспомогательные инструменты в комплекте с режущими устанавливают в коническое отверстие выдвижного шпинделя. Оно имеет конус 7 : 24 по ГОСТ 15945—70, обозначенный условными номерами 40, 45, 50. На торце выдвижного шпинделя имеются две шпонки, передающие крутящий момент.

В выдвижной шпиндель встроен механизм крепления инструмента, который должен осуществить осевую затяжку за специальные органы захвата хвостовика вспомогательного инструмента.

Столы станков имеют прямоугольную форму в плане, малая

43. Технические характеристики некоторых горизонтально-расточных станков с ЧПУ

Характеристика	2611Ф2	2А620Ф2	2А622Ф2
Исполнение	С подвижной стойкой	С крестовым столом	С крестовым столом
Диаметр выдвижного шпинделя, мм	80	90	110
Внутренний конус отверстия в шпинделе по ГОСТ 15945—70	40	50	50
Рабочая поверхность стола, мм:			
ширина	800	1 120	1 120
длина	900	1 250	1 250
Частота вращения шпинделя, об/мин	12,5—1 250	10—1 600	10—1 250
Рабочая подача, мм/мин	2—1 600	1,25—1 250	1,25—1 250
Скорость вспомогательного хода, мм/мин	5 000	2 500	2 500
Наибольшее перемещение стола; мм:			
продольное (по оси W')	—	1 000	10 000
поперечное (по оси X')	1 000	1 000	1 000
Наибольшее продольное перемещение стойки (по оси W), мм	645	—	—
Наибольшее вертикальное перемещение шпиндельной бабки (по оси Y), мм	710	1 000	1 000
Наибольшее перемещение выдвижного шпинделя (по оси Z), мм	500	710	710
Число управляемых координат (всего/одновременно)	5/2	4/2	4/2
Дискретность отсчета по координатам, мм	0,01	0,01	0,01
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	8	10	10
Габаритные размеры, мм:			
длина	4 200	6 770	6 770
ширина	5 150	3 900	3 900
высота	2 880	3 100	3 100
Масса, кг	13 000	16 000	15 500
Точность позиционирования по осям, мм:			
X'	0,08	0,05	0,05
Y	0,063	0,05	0,05
Z	0,125	—	—
W (W')	0,1	0,05	0,05
Нестабильность при позиционировании, мм:			
по оси X'	0,015	0,03	0,03
по оси Y	0,012	0,03	0,03
по оси Z	0,02	—	—
по оси W (W')	0,02	0,03	0,03

и большая стороны прямоугольника близки по величине друг к другу. В продольном направлении стол имеет Т-образные пазы, в центре — точное отверстие. По центральному пазу, который является базовым, и отверстию следует устанавливать крепежные приспособления и проверять точность станка, в частности, совмещение оси шпинделя с центром поворота стола при выходе рабочих органов по оси X в определенную координату. Материал стола — высокопрочный чугун.

Совершенствование расточных станков идет по пути создания условий для высокопроизводительной обработки. По сравнению с универсальными станки с ЧПУ имеют бóльшие мощность, жесткость и виброустойчивость. Направляющие исполнительных устройств делают комбинированными: по основным поверхностям они являются направляющими скольжения, а по боковым поверхностям — направляющими качения (см. рис. 48, *а*). В приводах подач используют двигатели постоянного тока, в том числе высокомоментные. Преобразование вращательного движения двигателей в поступательное рабочих органов реализуется за счет винтовых пар качения, на некоторых станках применяют пере-

44. Технические характеристики некоторых координатно-расточных станков с ЧПУ

Характеристика	2450АФ2	2Д450АФ2
Размер рабочей поверхности стола, мм:		
длина	630	630
ширина	1120	1120
Наибольшее перемещение стола, мм:		
продольное (по оси X')	1000	1000
поперечное (по оси Y')	630	630
Наибольший диаметр сверления, мм		
стали	30	30
чугуна	40	40
Наибольший диаметр растачивания, мм	250	250
Наибольшее перемещение, мм:		
шпиндельной бабки (по оси W)	330	330
гильзы шпинделя (по оси Z)	220	220
Внутренний конус шпинделя по ГОСТ 15945—70	45	45
Частота вращения шпинделя, об/мин	32—2000	32—2000
Рабочая подача, мм/мин	2—630	20—400
Скорость быстрых перемещений, мм/мин	5000	2500
Мощность главного привода, кВт	6,3	2,0
Габаритные размеры станка без устройства ЧПУ, мм		
ширина	2430	2760
длина	3400	2360
высота	2750	2800
Масса, кг	7960	8400
Точность межосевых расстояний обработанных отверстий, мм	0,014	0,014
Точность геометрической формы отверстий, мм	0,004	0,006

дачи червяк — рейка качения и гидростатические винтовые передачи.

Расточные станки с вертикальной осью шпинделя (табл. 44) в значительной степени повторяют компоновки бесконсольных координатно-расточных станков. Они имеют три управляемые координаты, инструмент и закрепленная на столе заготовка перемещаются друг относительно друга по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Столы вертикально-расточных станков имеют прямоугольную форму, длина значительно превосходит ширину.

На расточных станках выполняют фрезерование плоскостей и пазов, сверление и зенкерование отверстий, растачивание отверстий, подрезание торцов, нарезание резьб метчиками.

На расточных станках с вертикальным расположением шпинделя целесообразно обрабатывать плоские заготовки (планки, плиты, фланцы, рычаги и др.), на горизонтально-расточных — корпусные детали. Для обработки заготовки с разных сторон на станках с вертикальным шпинделем необходимо иметь различные ее установы. Обработку с четырех боковых сторон на горизонтально-расточном станке можно выполнять при одной установке заготовки, осуществляя поворот стола.

Сверлильные станки с ЧПУ изготавливают в двух исполнениях: вертикально-сверлильные (табл. 45) и радиально-сверлильные. Они способны выполнять разнообразные работы: сверление, зенкование, зенкерование, развертывание, нарезание резьб, легкое фрезерование и т. д. Наличие крестового стола, возможность работать последовательно несколькими инструментами, а в некоторых случаях и многоинструментальными головками, автоматизация позиционирования и работы вдоль оси Z позволяют осуществлять производительную координатную обработку деталей типа крышек, фланцев, панелей, планок и других без предварительной разметки и применения кондукторов. Современные сверлильные станки с ЧПУ имеют большие диапазоны подач и частот вращения шпинделей, которые обеспечивают возможность выбора оптимальных режимов резания при обработке деталей из черных и цветных металлов.

Недостатками сверлильных станков с ЧПУ являются пониженная жесткость шпиндельной группы при использовании револьверной головки, ограниченное число инструментов в этом варианте исполнения, невозможность выполнять фрезерные и высокоточные расточные работы.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Наиболее технологичной является деталь, у которой все обрабатываемые поверхности лежат с одной стороны. Достаточно технологичен случай, когда обрабатываемые поверхности лежат

45. Технические характеристики некоторых вертикально-сверлильных станков с ЧПУ

Характеристика	2Р118Ф2	2Р135Ф2
Наибольший диаметр сверления детали из стали 45, мм	18	35
Наибольший диаметр нарезания резьбы в детали из стали 45, мм	М18	М24×3
Конус Морзе в отверстии шпинделя	2	4
Вылет шпинделя, мм	450	450
Наибольший крутящий момент, Н·м	100	200
Наибольшая сила подачи, Н	6000	15 000
Число шпинделей револьверной головки, шт.	6	6
Число ступеней частот вращения шпинделя	12	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	45—2000	31,5—1 400
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до поверхности стола, мм	530	600
Наибольший ход шпинделя каретки, мм	500	560
Скорость вспомогательного хода каретки, мм/мин	4000	4 000
Число подач каретки	18	18
Подача каретки, мм/мин	10—500	10—500
Время поворота револьверной головки из одной позиции в другую, с:		
1—2	3,2	3,2
1—4	5,6	5,6
1—6	7,6	7,6
Размеры рабочей поверхности стола, мм:		
ширина	400	400
длина	630	630
Число пазов стола	3	3
Расстояние между пазами, мм	100	100
Ширина паза, мм	14	14
Максимальная скорость стола, мм/мин	3800	3800
Наибольший ход стола, мм:		
поперечный	360	360
продольный	560	560
Точность позиционирования стола, мм	0,05	0,05
Повторяемость позиционирования стола, мм	0,03	0,03
Дискретность отсчета, мм	0,01	0,01
Число управляемых координат	3	3
Мощность двигателя главного движения, кВт	3	4
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	200	200
Габаритные размеры станка, мм:		
длина	2350	2 450
ширина	1800	1 820
высота	2500	2 700
Масса станка без пульта управления, кг	4500	4 900

с разных (в пределах четырех) сторон, которые могут быть последовательно обращены к шпинделю при повороте детали вокруг одной оси.

В конструкции деталей желательно избегать наклонных поверхностей, не параллельных координатным перемещениям рабочих органов станка. Базовая поверхность должна иметь достаточную протяженность. Жесткость детали должна позволять закреплять ее без деформирования, а конфигурация позволять осуществлять закрепление, при котором зажимные устройства не ограничивали бы доступ режущих инструментов к обрабатываемым поверхностям.

Торцовые поверхности, прилегающие к отверстиям, могут быть обработаны либо фрезерованием, либо подрезанием резцом. В первом случае торцовые поверхности должны быть открытыми, по возможности лежать в одной плоскости, во втором — они могут быть закрытыми, но не должны иметь большую протяженность во избежание возникновения вибраций.

Основные отверстия высокой точности не должны лежать на большом удалении от наружных стенок заготовки. Следует учитывать, что предельный вылет инструмента от торца полого шпинделя, при котором возможна успешная обработка, равен пяти диаметрам выдвижного шпинделя. Диаметры основных отверстий во внутренних стенках должны быть меньшими, чем диаметры отверстий в наружных стенках.

Кольцевые канавки и выточки в отверстиях следует признать нетехнологичными элементами, так как их обработку на станках с прямоугольной системой управления можно выполнять только с помощью сложных план-суппортных расточных головок, в которых поперечное выдвижение резца осуществляется в основном не в автоматическом режиме.

Число разнотипных поверхностей должно быть сведено к минимуму. Некоторые поверхности для полной обработки требуют двух—четырех разнотипных инструментов. Для обработки основных отверстий с высокой точностью необходимо применять не менее четырех инструментов, например сверло—зенкер—резец—резец, сверло—зенкер—резец—развертка. Для обработки резьбового отверстия необходимо применять также три-четыре инструмента: центровочное сверло, которое одновременно образует заходную фаску, сверло и один-два метчика. Уменьшение разнотипности отверстий сокращает число смен инструментов, а также номенклатуру вспомогательных инструментов.

§ 3. ОБРАБОТКА ОСНОВНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Основные отверстия в корпусных деталях служат для размещения в них подшипников качения и скольжения. Размеры основных отверстий должны выдерживаться по 6—7-му квалитетам точности, отклонения формы в продольном и поперечном направ-

лениях составляют $^1/_3$—$^1/_2$ от поля допуска на размер. Межцентровые расстояния лежат в пределах 0,01—0,12 мм, допуски взаимной параллельности и перекоса осей либо равны допуску на межцентровое расстояние, либо составляют его часть. Те же требования предъявляют к параллельности оси отверстий базовым плоскостям. Отверстия, лежащие в разных стенках по одной оси, должны быть соосны между собой.

Для соосности введены понятия отклонений относительно базовой поверхности и относительно общей оси. На рис. 93, *а* и 93, *б* показано отклонение Δ_1 от соосности отверстия *Б* относительно базовой поверхности оси отверстия *А* и отклонение Δ_2 от соосности отверстия *А* относительно оси отверстия *Б*, которая принята за базовую поверхность. На рис. 93, *в* показано, как определяется соосность относительно общей оси двух отверстий *А* и *Б*. В этом случае Δ_1 есть отклонение от соосности оси отверстия *Б* относительно общей оси отверстий *А* и *Б*. Аналогично определяют отклонение Δ_2, характеризующее отклонение от соосности отверстия *А* относительно общей оси обоих отверстий.

Высокие требования в корпусных деталях предъявляют к шероховатости обработанных поверхностей. При обработке основных поверхностей на станке с ЧПУ важно выбрать такую схему, которая обеспечит требуемую точность при наивысшей производительности. В заготовках из чугуна отверстия малых диаметров (до 50 мм) обычно не отливают, а отверстия больших размеров для экономии металла отливают. Однако это имеет свои отрицательные стороны. Припуски в литье значительны, нередки смещения в расположении отверстий вплоть до возникновения неисправимого брака. Расточной резец, работающий по корке, в случае смещения отверстия вынужден работать в очень неблагоприятных условиях.

Наметилась тенденция не отливать отверстия в стенках заготовки, а вырезать их с помощью кольцевых сверл (рис. 94). Вырезанный материал может быть использован в качестве заготовки плоских цилиндрических деталей. Припуск на окончательную обработку после кольцевого сверления равен 1—3 мм.

При сверлении спиральными сверлами в момент врезания может произойти увод сверла. Наиболее существенны две причины, вызывающие увод: неперпендикулярность торца заготовки к оси сверла и несимметричность перемычки сверла. Для исключения

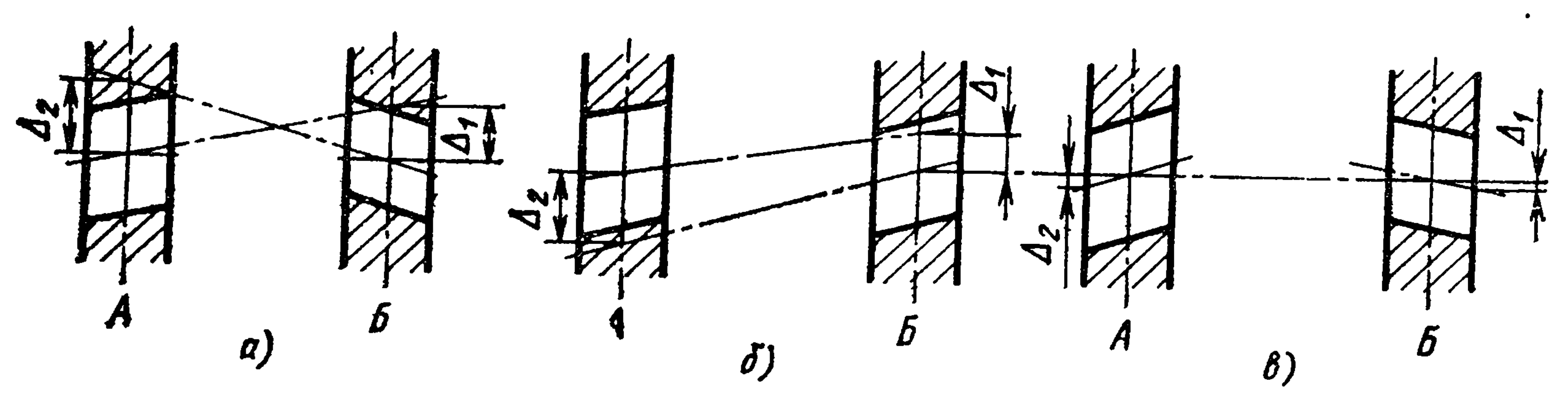


Рис. 93. Отклонения отверстий от соосности

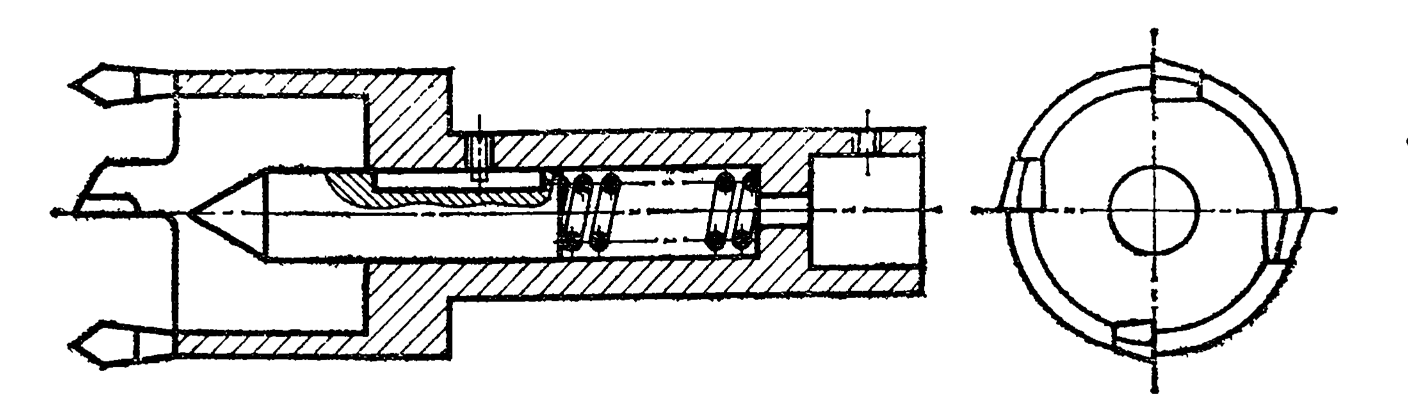


Рис. 94. Кольцевое сверло

увода производят предварительную зацентровку с помощью специальных центровочных сверл или жестких перовых сверл с углом при вершине 90°.

После сверления необходим, как минимум, один проход расточным резцом, т. е. однолезвийным инструментом, для исправления расположения оси отверстия. Любой двух- или многозубый инструмент не может в полной мере выправить положение оси, копируя и сохраняя погрешность ее расположения от предшествующих операций. Однолезвийный инструмент исправляет эту погрешность в гораздо большей степени, уменьшение погрешностей зависит от жесткости системы резец—оправка—шпиндельная группа станка.

На последнем проходе расточным инструментом должны быть обеспечены требуемые точность размера, цилиндричность и шероховатость поверхности. Наиболее приемлемым инструментом с точки зрения достижения всех параметров точности может явиться расточной резец, встроенный в головку с микрометрической регулировкой. Стабильность размеров расточных отверстий в партии деталей зависит в этом случае от точности и жесткости сопряжения посадочной поверхности расточной головки и отверстия в шпинделе станка.

Влияние точности сопряжения инструмента со шпинделем столь существенно, что многие потребители станков с ЧПУ отказываются от выполнения последнего прохода резцом, переходя к обработке развертками, которые в отличие от резцов не требуют столь жесткого крепления. Некоторая способность развертки «плавать» благотворно влияет на результаты обработки. Развертки не призваны выправлять положение оси, снимая малые припуски (сотые и десятые доли миллиметра), их направляют по предварительно расточенному отверстию, улучшая геометрическую форму отверстия. Размер отверстия в большинстве случаев равен диаметру развертки. Если при развертывании происходит явление «разбивания», то это свидетельствует о биении инструмента и погрешности затачивания.

§ 4. ДОСТИЖЕНИЕ СООСНОСТИ ОТВЕРСТИЙ

При обработке на горизонтально-расточных станках с ЧПУ особенно важно достижение требуемой соосности отверстий, расточенных в противолежащих стенках детали. Было бы большим

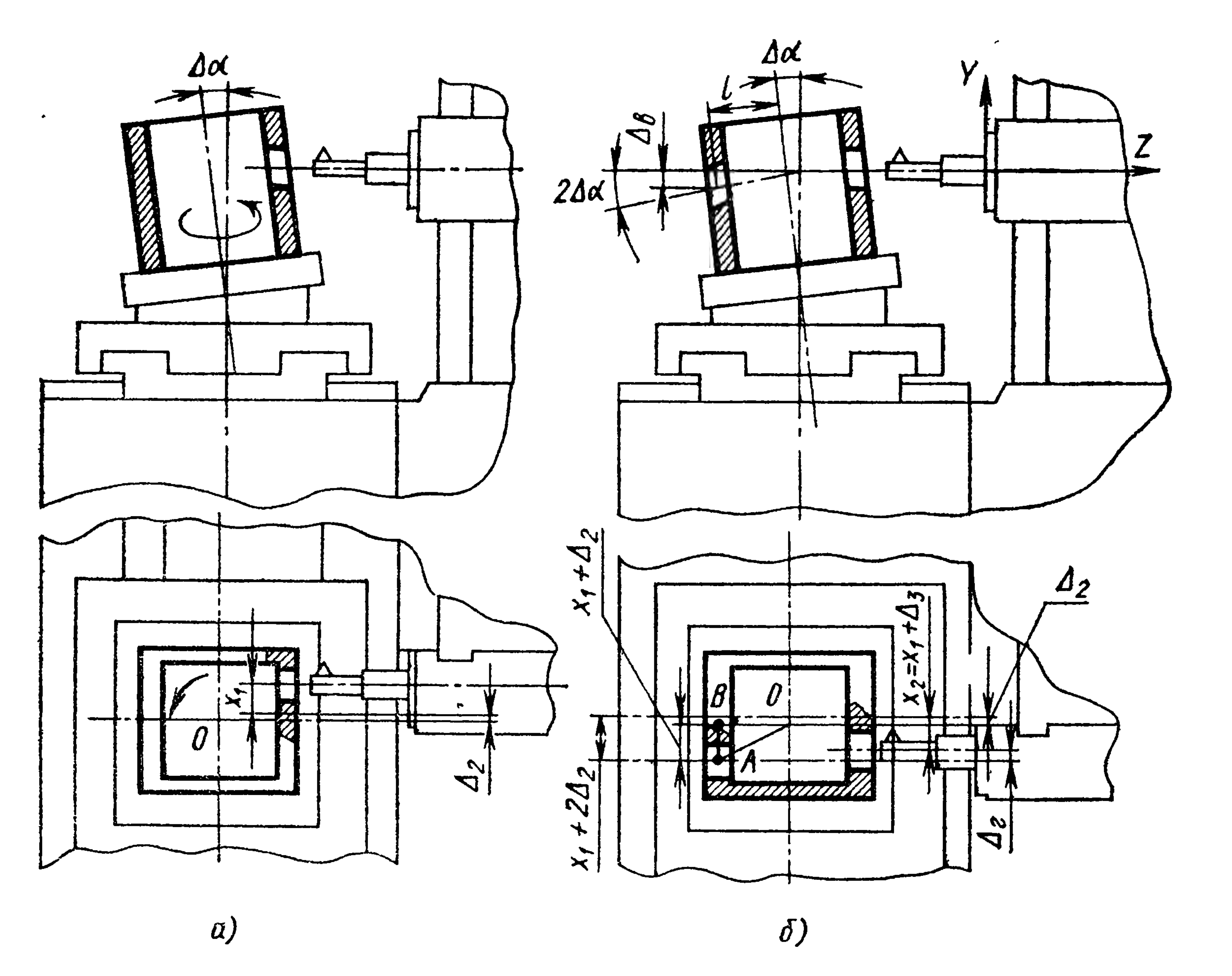


Рис. 95. Возникновение погрешностей несоосности при растачивании отверстий в противолежащих станках детали:

а — растачивание в первой стенке; *б* — растачивание во второй стенке после поворота на 180°

упрощением считать, что соосность целиком определяется точностью поворота стола станка на 180°.

На рис. 95 показан случай растачивания отверстий с двух сторон детали. Основное влияние на возникновение составляющей погрешности в вертикальной плоскости $\Delta_в$ оказывает неперпендикулярность оси поворота стола к направлению движения подачи растачивания в плоскости YZ (угол $\Delta\alpha$). Эта составляющая определяется неточностью станка, но может также проявиться неожиданно при разрегулировании или при появлении неисправности в устройствах зажима поворотного стола; $\Delta_в = 2l\,\Delta\alpha$, где l — расстояние от оси поворота до стенки, в которой выявляется погрешность, мм; $\Delta\alpha$ — угол, рад.

Растачивание основных отверстий в разных стенках (на горизонтально-расточных станках) следует производить при перемещении стола или стойки при постоянном вылете выдвижного шпинделя. Это обусловлено тем, что при выдвижении шпинделя из-за его провисания не обеспечивается абсолютная прямолинейность перемещения резца в вертикальной плоскости

Много разнородных погрешностей участвует в возникновении горизонтальной составляющей несоосности $\Delta_г$; Δ_1 — погрешность поворота стола на 180°; Δ_2 — несовпадение расчетной коорди-

наты с осью поворота стола; Δ_3 — погрешность перемещения из первого положения с координатой x_1 во второе положение с координатой x_2 (x_1 и x_2 номинально равны по величине, но противоположно направлены).

Погрешность поворота стола $\Delta_1 = \Delta\rho OB$, где $\Delta\rho$ — угловая погрешность поворота стола, OB — проекция размера OA на направление оси шпинделя, точка A расположена в центре отверстия.

В станках с абсолютной системой отсчета ось поворота стола — точка O имеет определенную расчетную координату по оси X, например в станке 2А622Ф2 — 500 мм. Если в действительности имеется несовпадение расчетной координаты с осью поворота на некоторую величину Δ_2, то после поворота расточенное отверстие сместится от исходного положения на величину $2\Delta_2$. Возникновение погрешности Δ_3 связано с тем, что заданные равными по величине перемещения x_1 и x_2 контролируются различными участками отсчетных систем, в связи с чем они в действительности не равны между собой.

Наиболее вероятная величина горизонтальной составляющей отклонений от соосности оси второго расточенного отверстия относительно оси первого, определяется зависимостью:

$$\Delta_г = \sqrt{\Delta_1^2 + 4\,\Delta_2^2 + \Delta_3^2}.$$

§ 5. ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОЙ СТАНОК 2611Ф2

Станок выполнен с выдвижным шпинделем диаметром 80 мм, продольно-подвижной стойкой и поперечно-подвижным поворотным столом. Станок предназначен для выполнения работ инструментом, закрепленным в шпинделе, подачей выдвижного шпинделя (ось Z), стола (ось X'), стойки (ось W) и шпиндельной бабки (ось Y). Стол может быть позиционирован под любым углом с дискретностью 1° (координата B'). На рис. 96 указаны предельные размеры обрабатываемой детали, даны органы управления и размеры среднего паза поворотного стола.

Изменение частоты вращения шпинделя достигается изменением частоты вращения двигателя постояного тока, а также переключением блоков зубчатых колес. Для переключения колес имеется электрогидравлический механизм с шестью исполнительными гидравлическими цилиндрами.

Все подвижные исполнительные устройства снабжены гидромеханическими устройствами (рис. 97), осуществляющими их зажим пакетами тарельчатых пружин, а отжим — гидравликой.

Зажим состоит из рычага *12* с винтом *4*; рычаг пятой *13* через подпятник *14* опирается на корпус *1* зажима. В расточке корпуса смонтирован односторонний гидроцилиндр с поршнем *2* и толкателем *3*. В расточке корпуса подвижного узла установлен стакан *6* с тарельчатыми пружинами *8*, надетыми на шток *7* и затя-

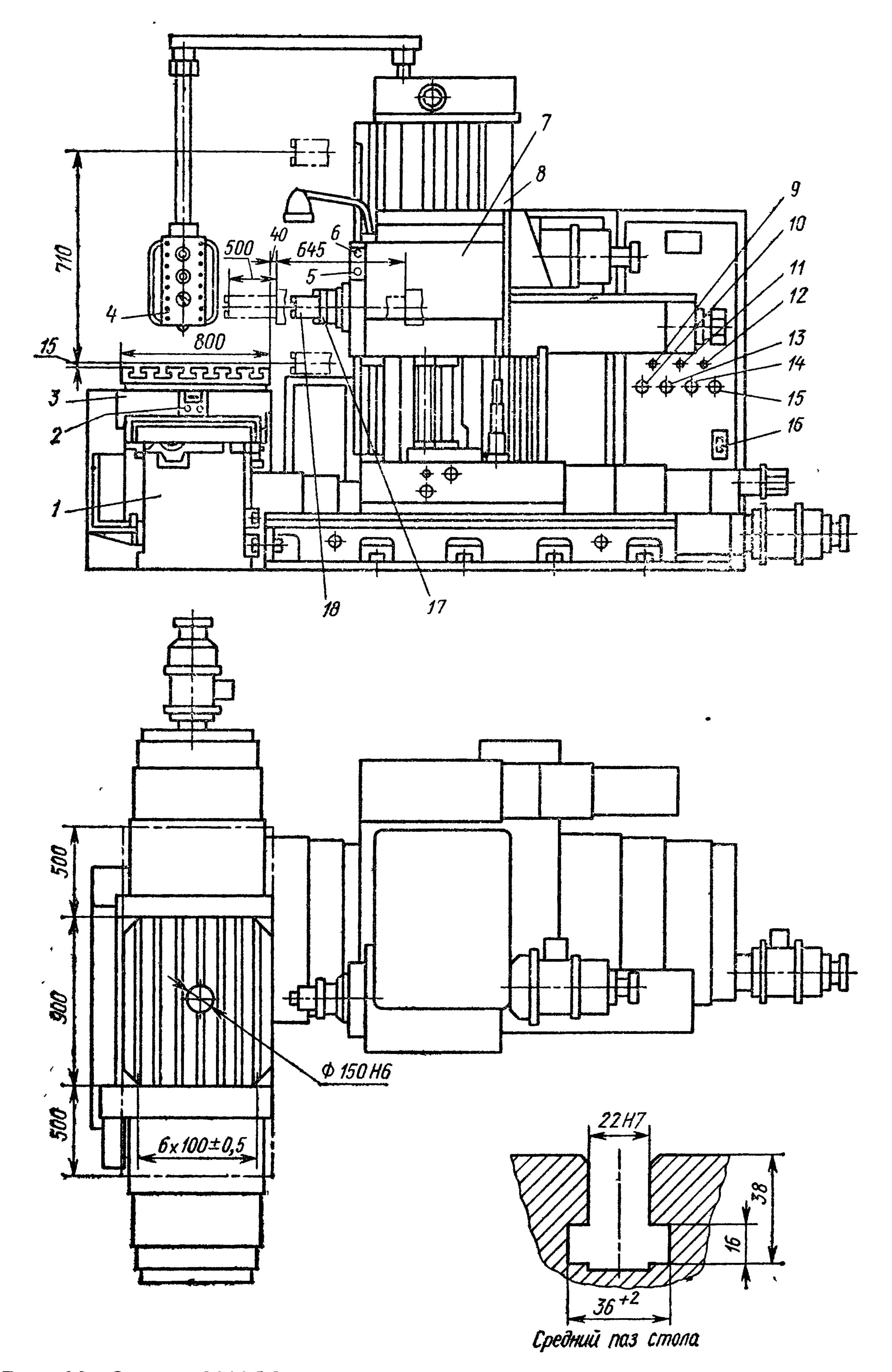
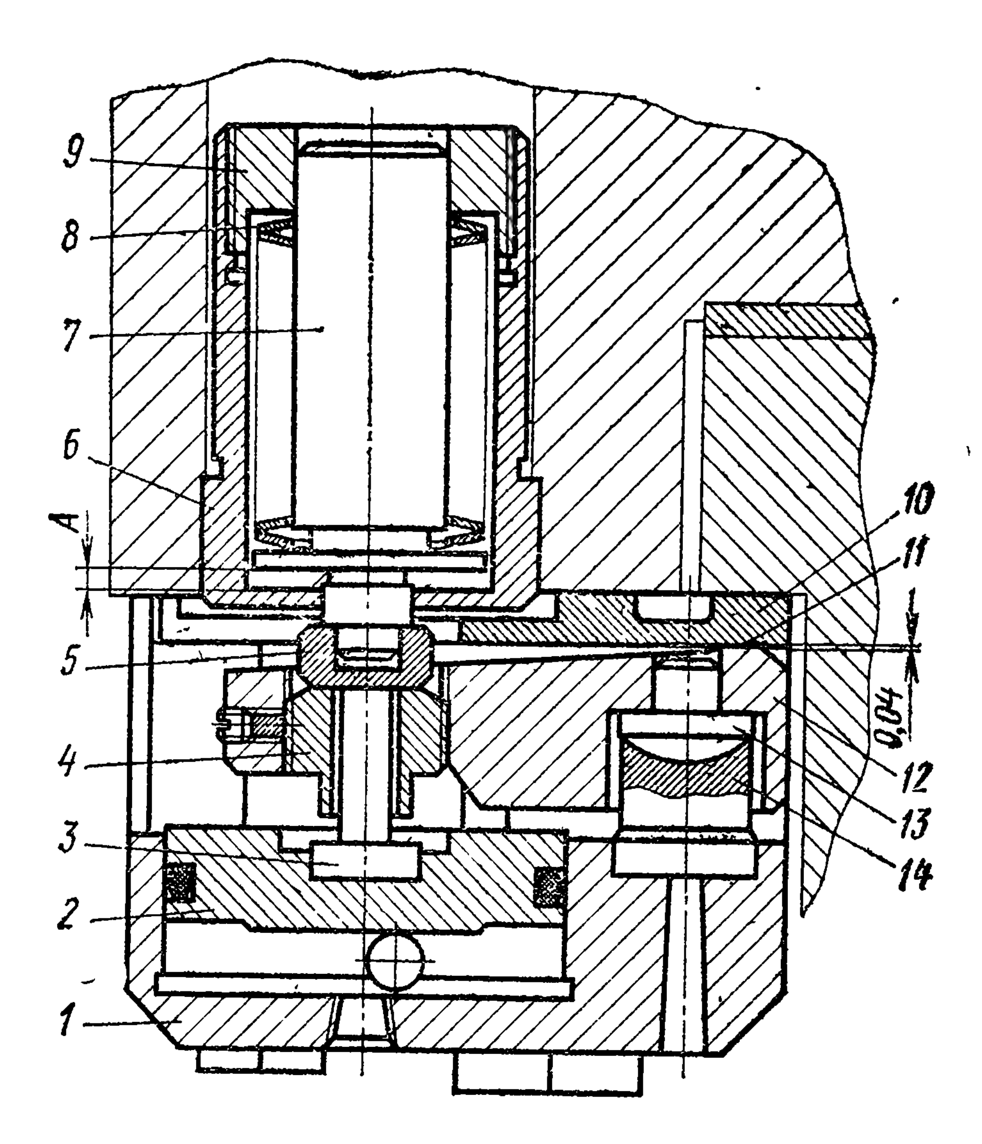


Рис. 96. Станок 2611Ф2:

1 — станина; *2* — кнопки включения подсветки нониуса; *3* — стол; *4* — подвесной пульт; *5* — кнопка «Зажим инструмента»; *6* — кнопка «Отжим инструмента»; *7* — шпиндельная бабка; *8* — стойка; *9* — аварийная сигнализация; *10* — кнопка аварийного отключения вводного автомата; *11* — сигнализация наличия напряжения в шкафу; *12* — сигнализация наличия напряжения цеховой сети; *13* — кнопка включения цепей управления; *14* — кнопка отключения питания; *15* — кнопка включения питания; *16* — автоматический выключатель; *17* — шпиндель; *18* — выдвижной шпиндель

Рис. 97. Механизм зажима исполнительных устройств



нутыми гайкой *9* до усилия 10 000 ± 500 Н. Величина перемещения штока $A = 3 \pm 0,1$ мм.

В положении «Зажато» давление масла в полости цилиндра отсутствует. Под действием пружин *8* шток *7* через пяту *5* воздействует на винт *4*, рычаг *12* поворачивается на сфере пяты *13* и подпятника *14*. Выступ *11* рычага деформирует правый конец планки *10*, прижимая его к направляющей. В положении «Отжато» давлением масла поршень *2* перемещается вверх, нажимает через толкатель *3* и пяту *5* на шток *7*, который своим фланцем сжимает тарельчатые пружины. Рычаг *12* отходит на 0,04 мм от планки *10*.

При ослаблении усилия следует на демонтированном устройстве подтянуть гайкой *9* пакет пружин *8* до нормированного усилия 10 000 ± 500 Н, выполнив тарировку пакета пружин, затем установить устройство на место. Зазор между рычагом *12* и планкой *10* в положении «Отжато» регулируется винтом *4*, для уменьшения зазора винт следует ввинчивать в рычаг *12*.

Станок снабжен быстродействующим механизмом ручной смены инструмента (рис. 98). Механизм состоит из захвата *1* с сегментными выступами, толкателя *2*, упорных втулок *3*, тяги *4*, комплекта тарельчатых пружин *5*, поддерживающей втулки *6*, гаек *7*, *8* и гидроцилиндра отжима *9*.

При введении хвостовика вспомогательного инструмента в коническое отверстие выдвижного шпинделя хвостовик необходимо сориентировать так, чтобы пазы *13* фланца инструмента были расположены примерно под углом 90° к торцовым шпонкам шпинделя *12*, и вставить его в конус до соприкосновения фланца со шпонками. В этом случае штырь *11* хвостовика инструмента проходит сквозь паз, минуя сегментные выступы захвата *1*, и появляется возможность поворота инструмента.

Далее следует повернуть инструмент на 90° в любом направлении, при этом плечики штыря *11* повернутся и встанут против сегментных выступов захвата. Ориентируя пазы *13* фланца инструмента по шпонкам *12*, необходимо посадить инструмент в конус шпинделя до упора штырем *11* в толкатель *2*. При нажиме на пульте управления, размещенном на крышке шпиндельной

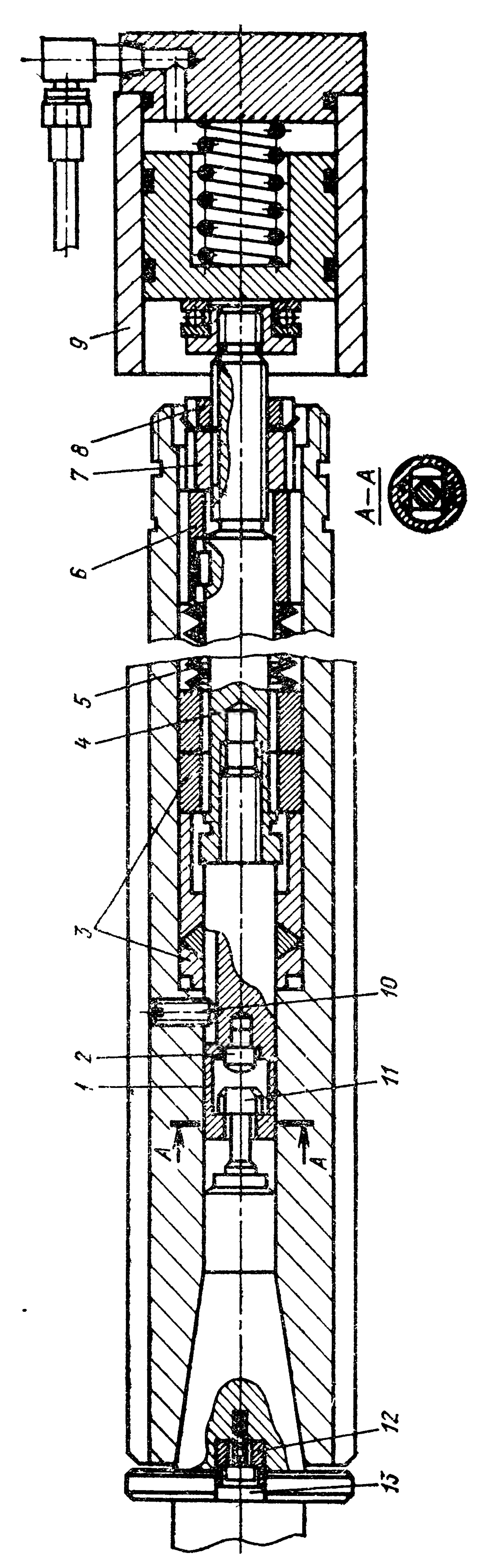


Рис. 98. Механизм зажима инструмента в шпинделе

бабки, на кнопку «Зажим инструмента» снимается давление в правой полости цилиндра. В этот момент нужно следить, чтобы пальцы руки, поддерживающей инструмент, не оказались между фланцем и передним торцом шпинделя. Пружины *5* через втулку *6* и гайки *7* и *8* переместят тягу с захватом *1* вправо. Сегментные выступы захвата дойдут до плечиков штыря и затянут инструмент в конус шпинделя.

Для отжатия инструмента необходимо нажать на кнопку «Отжим инструмента» и тем самым создать давление в правой полости гидроцилиндра. Поршень, преодолевая сопротивление пружин, перемещает тягу влево до соприкосновения толкателя *2* с торцом штыря *11* и выталкивает инструмент из конуса. Затем следует оттянуть инструмент влево до упора плечиков штыря в сегментные выступы захвата. Пазы *13* фланца инструмента выйдут из зацепления со шпонками *12* шпинделя. Для окончательного извлечения инструмента из шпинделя его следует повернуть на 90°, плечики штыря *11* совместятся с пазом захвата *1*.

При ослаблении усилия крепления инструмента необходимо выполнить следующие работы:

1) демонтировать гидроцилиндр отжима *9* с подшипником;

2) оттянуть назад до упора тягу *4* вместе с комплек-

46. Основные неисправности станка 2611Ф2 и методы их устранения

Внешнее проявление неисправности	Причина	Метод устранения
Обработанные поверхности не имеют правильного взаимного расположения	Нарушилась установка станка на фундаменте	Выверить станок по уровням. Проверить геометрическую точность
Не переключаются частоты вращения шпинделя	Неисправность в гидроцилиндре переключения зубчатых колес	Перебрать гидроцилиндр, устранить повреждение
Вибрации при резании	Уменьшилось усилие затяжки инструмента в шпинделе	Выполнить регулировку механизма зажима инструмента

том тарельчатых пружин, втулками и захватом и вывернуть винт *10*;

3) вынуть тягу в сборе с тарельчатыми пружинами, втулками и захватом из расточки выдвижного шпинделя;

4) с помощью гайки *7* и контргайки *8* через втулку *6* натянуть пружины до усилия 9900 ± 500 Н;

5) застопорить контргайку *8*, загнув усик шайбы в шлиц контргайки;

6) сжать пакет тарельчатых пружин еще на 14 мм, усилие пружин при этом должно возрасти до 11 000 ± 500 Н;

7) произвести сборку в обратном порядке.

Основные неисправности станка 2611Ф2 приведены в табл. 46.

§ 6. УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ 2611Ф2

Станок имеет подвесной пульт *4*, пульт на электрошкафу (лампы и кнопки *9—15*), отдельные кнопки *2*, *5*, *6* на станке (см. рис. 96) и пульт устройства ЧПУ.

На пульте устройства ЧПУ «Размер 2М» (рис. 99) сверху размещен лентопротяжный механизм, слева над ним экран цифровой индикации. Справа от экрана цифровой индикации расположены клавиши выбора режима работы устройства, кнопки ручного ввода, под экраном в левом крайнем ряду — декадные переключатели смещения нуля по всем осям. Правая нижняя сторона пульта занята переключателями коррекции длины и радиуса инструментов. Важнейшие режимы работы устройства: «Автомат», «Полуавтомат», «Преднабор» (ручной ввод). В режиме ручного ввода нажатием кнопки адреса, а затем кнопок цифр вводят в память устройства задания по данному адресу. Если есть ошибки при вводе, любой символ или слово могут быть стерты нажатием на соответствующую кнопку.

В рабочем режиме на экране цифровой индикации высвечивается следующая цифровая информация: положение всех рабо-

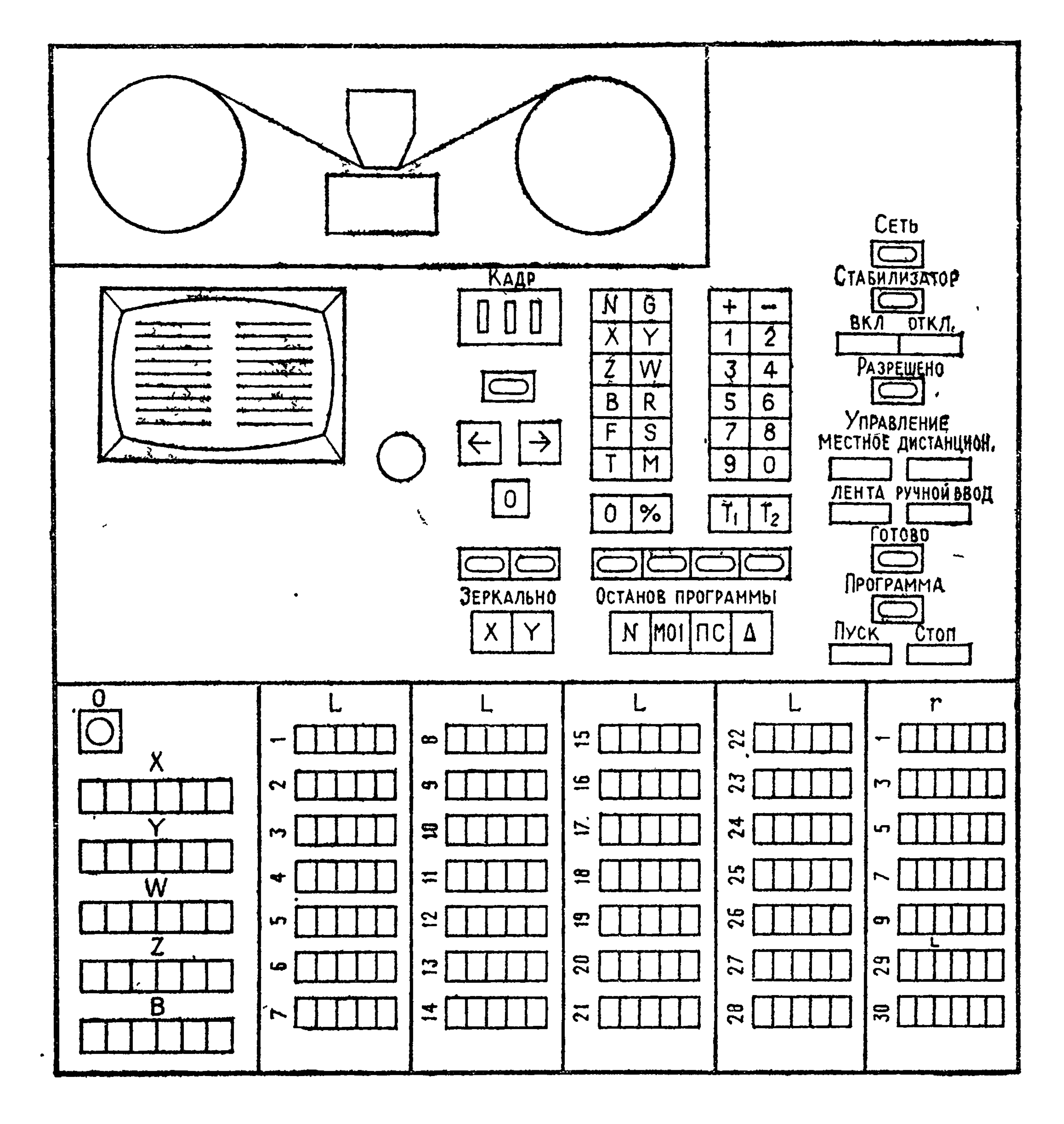


Рис. 99. Пульт устройства ЧПУ «Размер 2М»

чих органов станка относительно установленных нулей, позиция инструментального магазина, номер кадра, три группы *G*-функций, заданные адреса и координаты, заданные скорости подач и скорости шпинделя, номер инструмента (заданный и находящийся в шпинделе), вспомогательные команды *M*.

Экран цифровой индикации условно можно разделить на левую и правую половины. На левой индикатируется задание программы, на правой — фактическое положение и скорость движения рабочих органов, исполнение команд по адресам *S*, *T* и *M*.

Устройство «Размер 2М» позволяет осуществить восемь постоянных (стандартных) автоматических циклов по оси *Z*: сверление, растачивание отверстий, нарезание резьб и др. Эти технологические циклы заложены в виде постоянной жесткой программы работы устройства, вызываются соответствующими командами по адресу *G*. Полный автоматический цикл состоит из четырех этапов. На первом этапе включается вращение шпинделя и осуществляется перемещение на ускоренном ходу на величину *R*. На втором этапе цикла производится обработка детали, при этом инструмент с заданными скоростями подач и частотой вращения

шпинделя перемещается до заданной по адресу Z координаты глубины обработки. Вращение шпинделя в конечной точке может быть остановлено командой $M05$. На третьем и четвертом этапах цикла осуществляется возврат шпинделя с инструментом в исходное положение, при этом направление вращения шпинделя может оставаться прежним, либо быть измененным на противоположное, либо остановлено.

§ 7. НАСТРОЙКА РАСТОЧНОГО СТАНКА НА ОБРАБОТКУ ДЕТАЛИ

Рассмотрим один из наиболее ответственных этапов настройки — установку рабочих органов в ноль программы.

В ручном режиме между шпинделем и базирующими поверхностями приспособления необходимо установить требуемые расстояния. Для отсчета размеров вдоль шпиндельной оси по оси W (Z) может быть рекомендована индикаторная оправка (рис. 100). Она устроена так, что при навинчивании гайки *1* до упора в оправку *3* между внутренним торцом гайки и конусом оправки устанавливается определенный размер L, выгравированный на оправке. В таком положении индикатор *2* настраивают на ноль с исходным натягом. Сближают приспособление и шпиндель с оправкой (уже без гайки *1*) до касания с тем же натягом измерительным наконечником индикатора базирующих поверхностей приспособления. Используя ручной ввод, отходят от приспособления в ноль программы на заданную картой наладки величину за вычетом размера L. Производят сброс индикации, фиксируя ноль программы. Кнопкой возврата в ноль станка по оси W (Z) дают команду на отвод стойки в нулевое положение станка. Показания цифровой индикации по заданной координате переносят на декадные переключатели смещения нуля, что позволяет в дальнейшем легко восстанавливать ноль программы.

Для настройки нулевого положения по осям X' и Y можно воспользоваться точно обработанной по диаметру оправкой, установленной в шпинделе, или производить выверку непосредственно по выдвижному шпинделю (см. § 7 гл. I). Подводят оправку или шпиндель к базирующей поверхности (платику) приспособления таким образом, чтобы между цилиндрической и плоской поверхностями оправки и платика образовался зазор a, контроли-

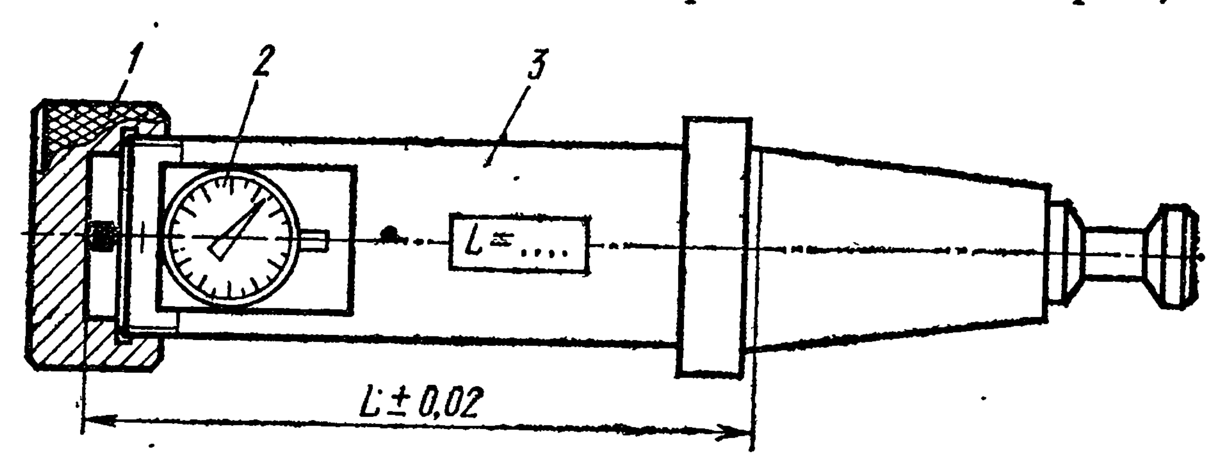


Рис. 100. Индикаторная оправка для настройки станка по оси W (Z)

руемый промежуточной мерной плиткой. Затем с помощью ручного ввода следует отойти на величину $C = A - (d/2 + a)$, где A — расстояние от базирующей поверхности приспособления до нуля программы; d — диаметр оправки или выдвижного шпинделя; a — размер мерной плитки.

После отхода производят сброс индикации по данной координате, возврат в исходное положение станка и перенос величины расстояния от нуля программы до нуля станка на декадные переключатели устройства смещения нуля.

Устройство «Размер 2М» имеет команду по адресу R-смещение начала отсчета по оси W (или Z) в отрицательном направлении. Под R программируются без знака расстояния от нуля отсчета по оси W (Z) до обрабатываемой поверхности. Если ноль отсчета по оси W (Z) совпадает с обрабатываемой поверхностью, то R равно нулю. Использование команды удобно тем, что до координаты R инструмент совершает ускоренное перемещение, а дальше до программируемой координаты (по оси) W (Z) — рабочее.

В большинстве случаев при работе на расточных станках удобней считать, что вылет вершин всех инструментов от торца шпинделя условно равен некоторой постоянной величине H. При настройке инструментов на размер следует измерять разницу между фактическими вылетами и размером H. Эту разницу следует набирать на корректорах длины со знаком минус при меньших и со знаком плюс при больших значениях вылета по сравнению с размером H; H можно принимать равным нулю.

Достаточно быструю настройку по координате W (Z) на станке, оснащенном устройством «Размер 2М», можно выполнить при работе инструментом, который не прошел предварительной настройки. Для этого с помощью ручного ввода вызывается номер соответствующего корректора длины, в шпиндель устанавливается режущий инструмент и на ручном перемещении совмещают вершину инструмента с координатной плоскостью XY, проходящей через начало координат программы. Для облегчения этой операции в зажимное приспособление можно установить обрабатываемую деталь, одна из сторон которой, ближайшая к шпинделю, лежит в плоскости XY. Совмещение произойдет, когда вершина инструмента коснется этой плоскости. В этом положении декадными переключателями вызванного корректора длины необходимо сбросить показания цифровой индикации по оси W (Z) до нуля.

§ 8. ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ. НАСТРОЙКА СТАНКА

Область применения сверлильных станков с револьверной головкой достаточно широка благодаря возможности замены и использования нескольких инструментов в ходе выполнения операции, работе комбинированными инструментами, полной авто-

матизации цикла и достаточно высокой точности обработки. Отсутствие кондукторов резко сокращает время технологической подготовки нового производства. Сверлильные работы на станках с ручным управлением среди всех видов работ на металлорежущих станках являются наиболее утомительными, что делает их перевод на ЧПУ весьма актуальным.

Базирование деталей на сверлильных станках производится либо по трем взаимно перпендикулярным плоскостям, либо по цилиндрическим поверхностям и торцу. Для настройки нуля программы в плоскости XY используют оправки-ловители, центроискатели, оправки с коническими центрами. Совместив в ручном режиме ось шпинделя с нулем программы, набирают на декадных переключателях смещения нуля по осям X и Y такие значения, которые приводят к нулевым показаниям цифровой индикации.

Если при настройке шпиндель устанавливают относительно крепежного приспособления не в нуле программы, а в некоторой базовой точке, то на декадных переключателях смещения OX и OY нужно набирать такие величины, которые на индикации дадут координаты X и Y от начала, указанного в чертеже детали, со знаком, соответствующим направлению движения стола от базовой точки детали к началу координат.

Для настройки станка по оси Z необходимо установить в шпиндели револьверной головки режущие инструменты. Исходное положение шпиндельной каретки устанавливают специальным кулачком таким образом, чтобы при ее отводе обеспечивался свободный поворот револьверной головки над приспособлением с зажатой заготовкой. Величину смещения каретки из нуля станка в ноль программы на пульте устройства ЧПУ следует выбрать таким, чтобы ноль программы по оси Z заведомо оказался дальше исходного положения каретки, определяемого кулачком. Также как на расточных станках, можно обойтись без настройки инструментов вне станка. Для этого поочередно вершину каждого инструмента следует подводить к поверхности детали, лежащей в плоскости с координатой 0 по оси Z, и набирать на переключателях соответствующих корректоров длины инструментов такие величины, которые приводят к нулевым показаниям по оси Z на табло цифровой индикации.

В большинстве случаев целесообразно выбрать такую последовательность обработки отверстий, когда каждым инструментом выполняется весь возможный объем обработки, а затем происходит смена инструмента. При такой последовательности экономится время, так как позиционирование происходит быстрее чем цикл смены инструмента, включая отводы и подводы каретки для его смены.

Глава XI

ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

§ 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Фрезерные станки с ЧПУ имеют компоновки вертикально-фрезерных, горизонтально-фрезерных и продольно-фрезерных станков (рис. 101). Вертикальные станки делят на две группы: консольно-фрезерные и бесконсольно-фрезерные.

Станки консольного исполнения имеют меньшую массу и занимают меньшую площадь по сравнению со станками других типов, однако в варианте с ЧПУ мало перспективны. Изготавливают эти станки в одноинструментном (рис. 101, *а*) и многоинструментном (рис. 101, *б*) исполнениях. Многоинструментность достигается за счет оснащения станка револьверной головкой.

В бесконсольных станках вертикальное перемещение имеет фрезерная головка. Стол обладает перемещениями по осям X' и Y', он покоится на массивном основании, благодаря чему станки такого типа обладают повышенной, по сравнению с консольными, жесткостью. Бесконсольные станки также можно изготовлять одноинструментными (рис. 101, *в*) или снабжать револьверными головками (рис. 101, *е*). Консольно-фрезерные станки имеют ширину стола 200, 250, 320 и 400 мм, бесконсольные — несколько большую: 320, 400, 500 и 630 мм.

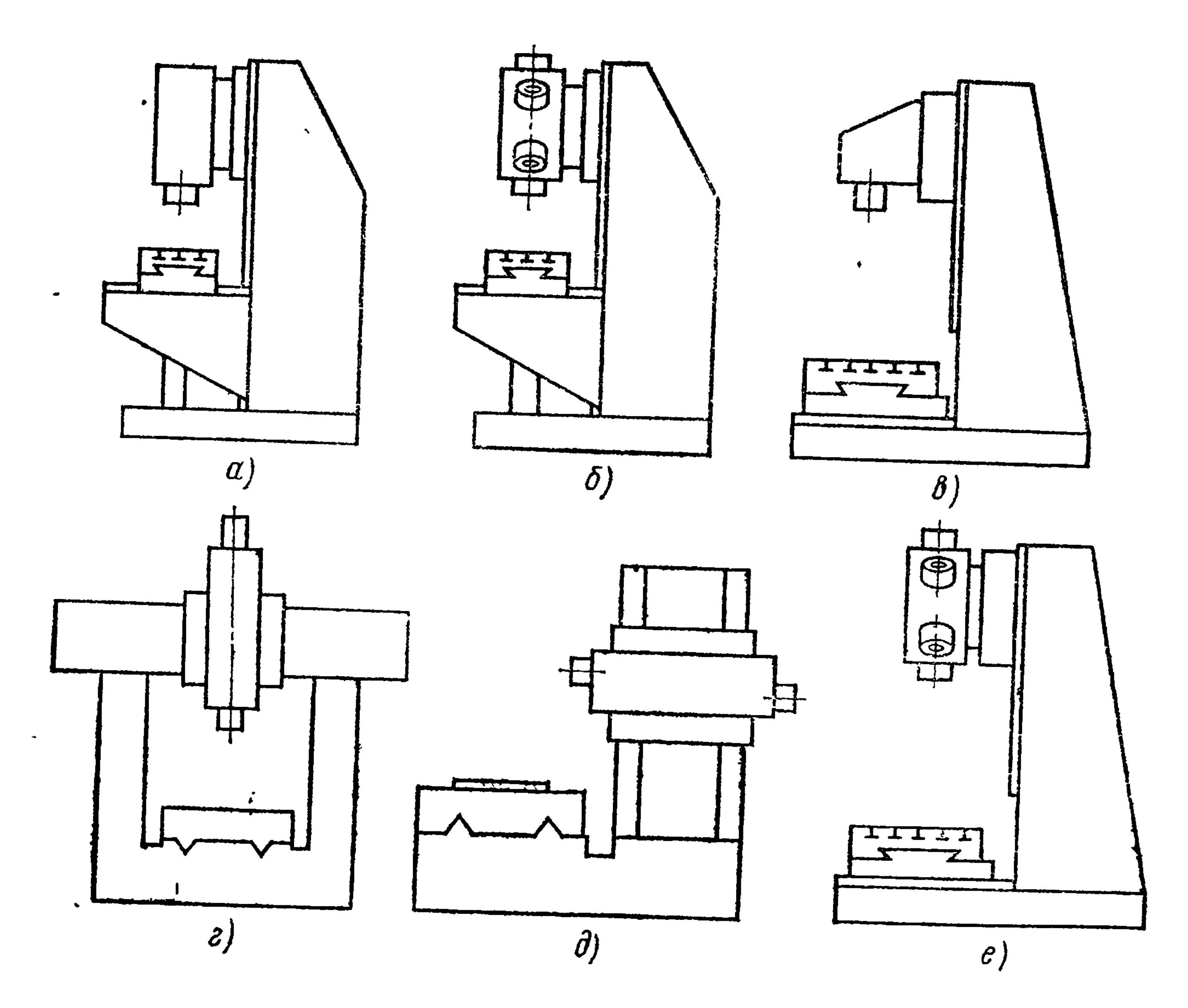


Рис. 101. Исполнения фрезерных станков с ЧПУ

Продольно-фрезерные станки (рис. 101, *г*) имеют большую ширину стола (630, 800 и 1000 мм) и длину до нескольких метров. В отличие от станков с ручным управлением продольно-фрезерные станки с ЧПУ чаще всего снабжают неподвижной траверсой, на которой расположена одна вертикальная фрезерная головка. Значительный по величине ход вертикальной головки по оси Z не только компенсирует отсутствие смещения траверсы, но и придает станку гораздо более широкие возможности, так как вертикальное перемещение головки является как установочным, так и рабочим. На продольно-фрезерном станке такой компоновки при использовании навесных угловых головок можно выполнять полную обработку деталей с пяти сторон. На одностоечном продольно-фрезерном станке (рис. 101, *д*) обычно встраивают поворотный стол.

Свойство работать разнообразными инструментами (фрезами, резцами, зенкерами, развертками, метчиками) присуще всем фрезерным станкам с ЧПУ, благодаря чему эти станки отвечают требованиям интегральной обработки.

Фрезерные станки имеют, как минимум, три программируемых координатных перемещения по осям X', Y' и Z. В сложных станках число управляемых координат доходит до пяти. Большинство вертикально-фрезерных станков снабжены контурной системой программного управления, а продольно-фрезерные — как контурной, так и позиционной, обеспечивающей прямоугольную обработку. Последние изготавливают также в исполнении с преднабором и цифровой индикацией (Ф1).

Достаточно широкое распространение получили станки с заданием цикла обработки непосредственно на рабочем месте, так называемые станки с ЦПУ (цикловое программное управление). Обычно система управления имеет ряд стандартных элементов циклов (например, нарезание резьбы), которые можно вызывать программой. Программирование величин перемещений исполнительных устройств в станках с ЧПУ осуществляется переставными упорами.

В конструкции направляющих тяжелых станков применяют направляющие качения. Выбор зазоров в приводах подач обеспечивает обработку при встречном и попутном фрезеровании. Технические характеристики фрезерных станков с ЧПУ приведены в табл. 47.

Передний конец шпинделя фрезерного станка имеет наружный фланец с посадочной цилиндрической поверхностью и крепежными резьбовыми отверстиями и двумя шпонками по торцу, а также внутреннее коническое отверстие с конусом 7/24.

Рабочие поверхности столов имеют продольные Т-образные пазы, средний из пазов выполняют с точностью *H9*, ширина остальных — по 11-му квалитету. В центре стола имеется калиброванное отверстие, выполненное с точностью *H9*, которое используют для базирования зажимных приспособлений.

47. Технические характеристики некоторых фрезерных станков с ЧПУ

Характеристика	6Р11Ф3	6520Ф3	6Р13Ф3	6М610Ф3
Исполнение	Вертикальный консольный	Вертикальный бесконсольный	Вертикальный консольный	Продольный
Размеры рабочих поверхностей стола, мм:				
длина	250	320	400	1000
ширина	1000	630	1600	3150
Наибольшее перемещение стола или бабки, мм:				
продольное	630	500	1000	3650
поперечное	300	320	400	1900
вертикальное	350	350	380	900
Мощность главного привода, кВт	5,5	4,0	7,5	30,0
Число ступеней частот вращения шпинделя	16	18	18	4
Частота вращения шпинделя, об/мин	80—2200	31,5—1600	40—2000	10—1 600
Рабочая подача, мм/мин	5—1200	5—1200	5—1200	3—3 000
Скорость холостых перемещений, мм/мин	2400	2400	2400	2 400
Цена импульса, мм	0,01	0,01	0,01	0,01
Устройство ЧПУ	Н33-1М	Н33-1М	Н33-1М	Н55-2
Габаритные размеры станка, мм:				
длина	2320	1480	3015	10 300
ширина	1865	1890	4150	7 000
высота	2240	2185	2580	5 300
Масса станка, кг	2200	4050	5700	43 000
Точность обработки, мм	0,05	0,06	0,08	0,08
Нестабильность при позиционировании, мм	0,025	0,035	0,04	0,01

§ 2. ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Дополнительно к проверке геометрической точности фрезерных станков, в ходе которой выявляют правильность взаимного расположения и перемещения рабочих органов, на обработанном на станке образце (для примера взят вертикально-фрезерный станок) проверяют плоскостность верхней поверхности, обработанной на станке торцовой фрезой; параллельность верхней обработанной поверхности основанию; перпендикулярность боковых, обработанных концевой фрезой поверхностей основанию; взаимную перпендикулярность боковых и торцовых поверхностей; прямолинейность и параллельность стенок паза.

Точность комплекса станок — устройство ЧПУ — приводы подач устанавливают путем следующих проверок.

1. Проверка точности отработки единичных импульсов. Наконечник индикатора, установленного на подвижном рабочем органе (столе), касается неподвижного элемента станка (оправки в шпинделе). Нажатием на кнопку выдачи единичных импульсов последовательно перемещают подвижный рабочий орган. Допускается погрешность в отработке импульса не более 0,4 дискреты.

2. Проверка точности возврата рабочих органов в нулевое положение по всем координатам. Рабочие органы перемещаются в ноль станка по командам соответствующих кнопок. В этом положении на индикаторах установлен ноль, отклонения от нуля в моменты многократных приходов в исходное положение характеризуют погрешность возврата в ноль. Эта погрешность в станках класса точности *Н* не должна выходить за пределы $\pm 0{,}005$ мм.

3. Определение зоны нечувствительности по каждой из управляемых координат. Индикатор располагают так же, как и в проверке 1. Перемещают рабочий орган в каком-нибудь направлении для создания натяга, на индикаторе устанавливают ноль. С помощью ручного ввода дают определенное перемещение в том же направлении на 1,0 мм, а затем возвращают рабочий орган на 1,0 мм в противоположном направлении. Разность показаний индикатора свидетельствует о том, что рабочий орган не вернулся на некоторую величину, которая является зоной нечувствительности. Практически зона нечувствительности на фрезерных станках равна 0,015—0,05 мм.

4. Проверка точности обработки окружности в режиме круговой интерполяции. Движением стола в плоскости *XY* фрезеруют плоскую заготовку, имеющую форму круга. Отклонения от круглости для станков класса точности Н должны находиться в пределах 0,1—0,25 мм.

5. Проверка точности координатных перемещений рабочих органов. Рабочие органы в режиме ручного ввода или от тест-программы перемещают последовательно на различные расстояния по каждому из координатных направлений. Величину перемещений контролируют индикатором и концевыми мерами длины, микроскопом и штриховой мерой длины или отсчетным устройством цифровой индикации на базе линейного индуктосина или лазерного интерферометра.

§ 3. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Фрезерные приспособления зачастую выполняют как многопозиционные, причем в каждой из позиций обрабатывают одну-две стороны заготовки (рис. 102). Автоматический цикл работы станка продолжается до тех пор, пока будет произведена обработка во всех позициях, после чего программа прерывается. Необходимо из последней позиции снять готовую обработанную деталь, переложить заготовку из каждой предыдущей позиции в последующую, а в первой позиции закрепить новую заготовку При подобной компоновке приспособления одновременно в работе находится

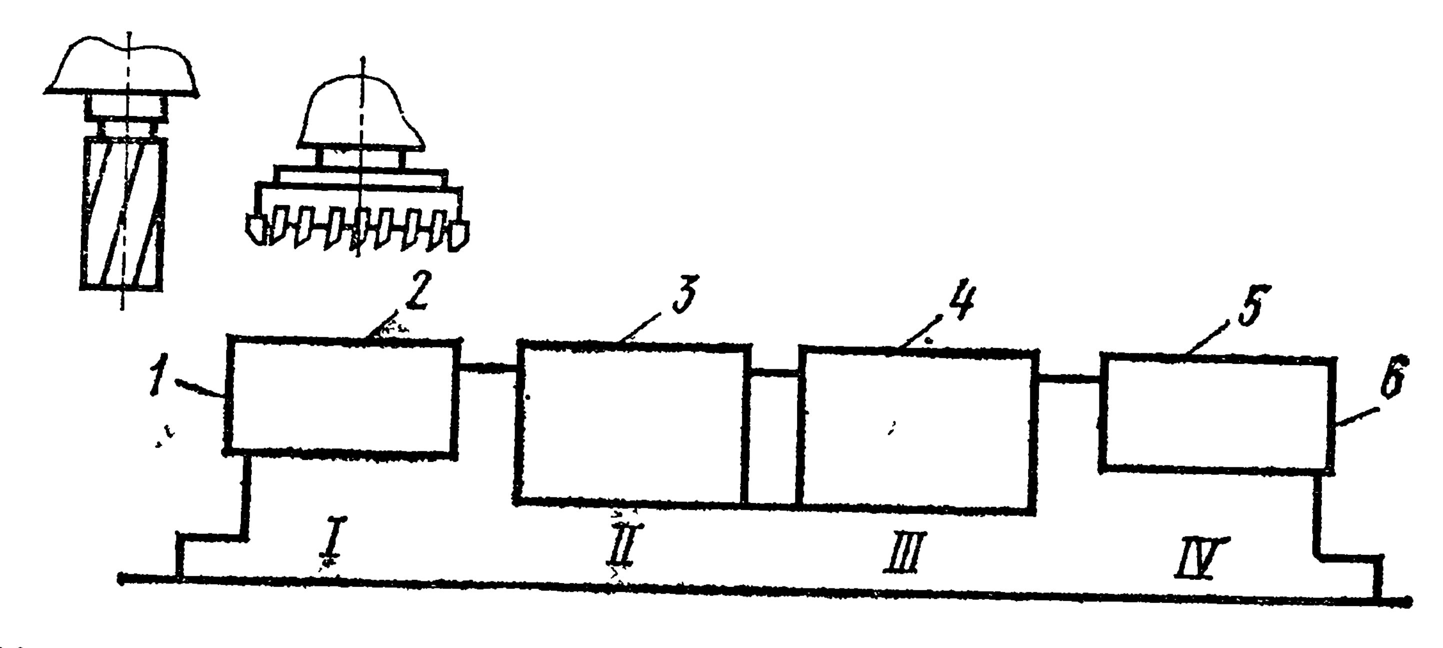


Рис. 102. Многопозиционное приспособление:
I—IV — позиции приспособления; 1—6 — стороны обрабатываемой детали

несколько заготовок (по числу позиций). Продолжительность автоматического цикла довольно большая, что способствует организации многостаночного обслуживания. Кроме того за одну операцию, следовательно, при одной настройке станка, получается полностью готовая, обработанная с нескольких сторон деталь.

Приспособления на станке ориентируют относительно его координатных осей по центральному пазу и центральному отверстию стола (с помощью цилиндрического пальца и шпонки или двух цилиндрических пальцев).

Сборно-разборные наладочные приспособления СРП—ЧПУ специально предназначены для оснащения фрезерных станков с ЧПУ (их можно также использовать на сверлильных и многооперационных станках). Элементы СРП—ЧПУ фиксируются между собой системой палец—отверстие, в отличие от УСП, где фиксация осуществляется системой шпонка—паз. Система палец—отверстие гарантирует более высокие точность, жесткость и стабильность параметров приспособления. Фиксирующие отверстия выполнены во втулках из прочного и износостойкого металла, втулки запрессованы в корпуса плит и угольников. Для крепления базовые элементы комплекта снабжены Т-образными пазами.

В комплект СРП—ЧПУ входят базовые сборочные единицы (рис. 103): плиты прямоугольные и круглые (рис. 103, *а*, *б*), подвижные и неподвижные губки, призмы, угольники (рис. 103, *в*), делительные стойки (рис. 103, *г*) 2—5 %; прижимные элементы (прижимы, прихваты) 18—20 % (рис. 104); опорные элементы (опоры регулируемые, подводимые, самоустанавливающиеся, планки, подкладки) 8—10 %; установочные элементы (пальцы, штыри, шаблоны) 15—20 %; крепежные детали 45—50 %; пружины, переходные планки для дополнения приспособлений элементами из комплектов УСП 2—5 % от общего количества единиц.

Для механизации закрепления в комплект входят прямоугольные и круглые плиты со встроенными гидравлическими цилиндрами, а также отдельные гидравлические прижимы.

Техническая характеристика комплектов СРП—14—ЧПУ и СРП—18—ЧПУ

Число деталей и сборочных единиц	1050
Габаритные размеры базовой плиты, мм:	
ширина	240—360
высота	60—90
длина	600—900
Ширина крепежного паза, мм	14, 18
Шаг между крепежными пазами, мм	60±0,6; 80±0,6
Диаметр координатно-фиксирующих отверстий, мм	12H7, 16H7
Шаг координатно-фиксирующих отверстий, мм	60±0,015; 80±0,015
Диаметр крепежного болта, мм	M12, M16
Рабочее давление гидропривода, МПа	10,0
Наибольшее усилие гидравлического прижима, Н	50 000
Время сборки одного приспособления средней сложности, ч	0,5

Агрегатирование сборно-разборных приспособлений производит наладчик на специализированном участке. Он использует карту наладки приспособления, в которой приведен перечень базирующих и прижимных элементов приспособления, указаны базовые поверхности и места их расположения, вид привода, габаритные размеры по высоте.

Гидравлические цилиндры, встроенные в базовые сборочные единицы, работают под давлением 10,0—15,0 МПа от электрогидравлических, механогидравлических насосов и пневмогидравлических усилителей давления. При использовании электрогидравлического насоса цилиндры подключают либо к гидросистеме станка, либо к отдельной насосной станции, содержащей насосную установку, резервуар для масла, фильтры, контрольно-ре-

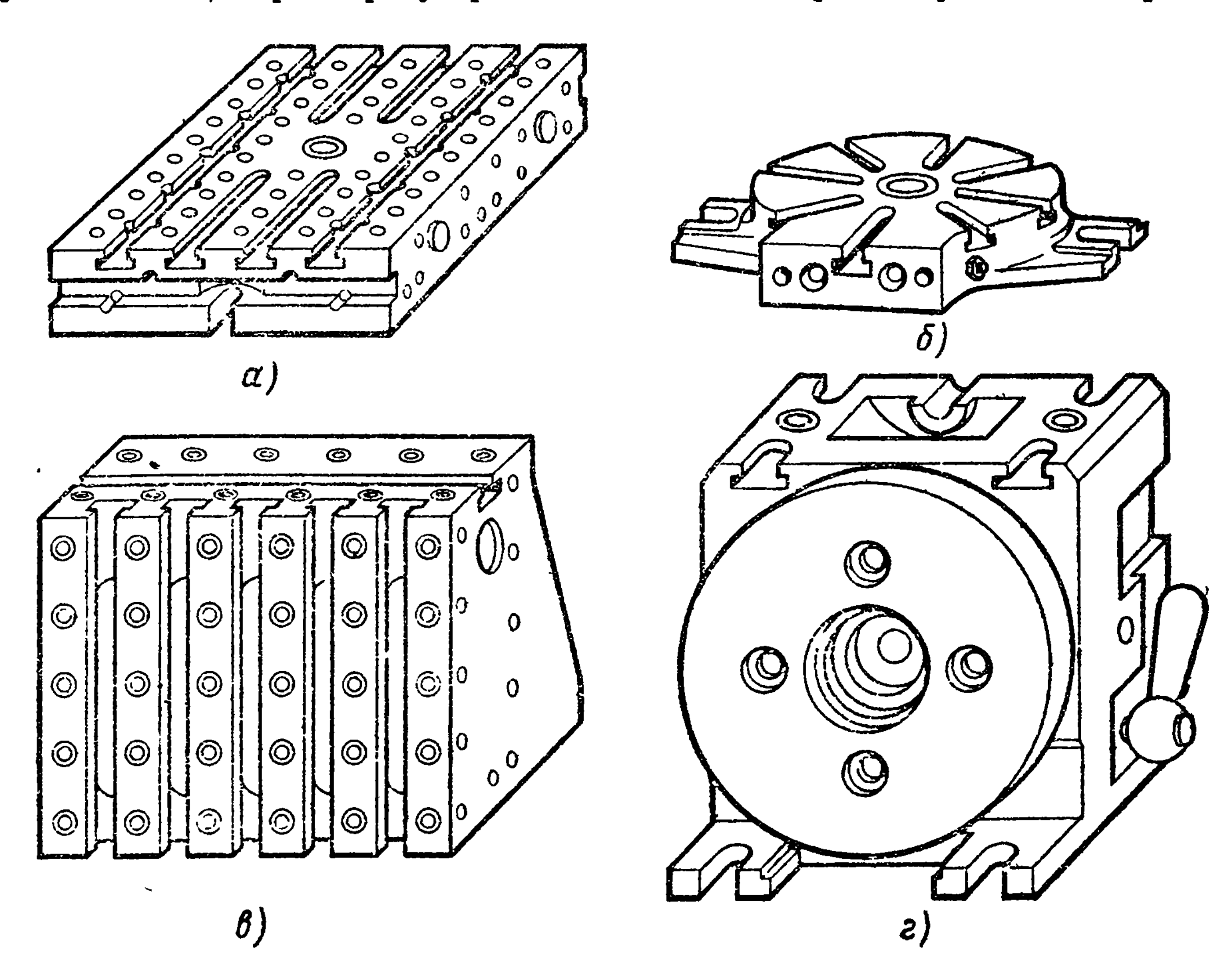


Рис. 103 Базовые сборочные единицы комплекта СРП—ЧПУ

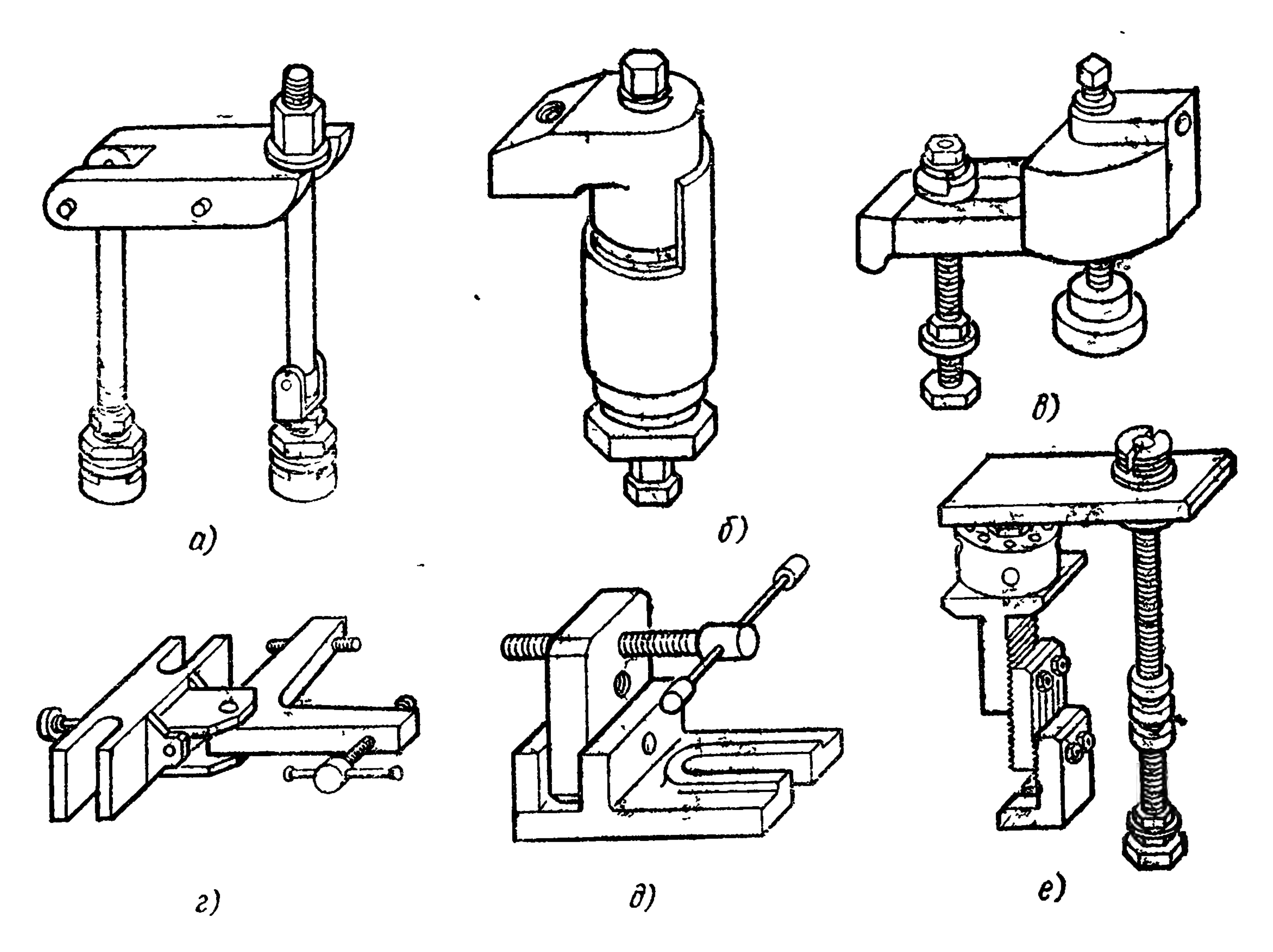


Рис. 104. Некоторые виды прижимов комплекта СРП—ЧПУ:

а — качающийся; *б* — Г-образный; *в* — гидравлический передвижной с регулируемой опорой; *г* — угловой откидной; *д* — откидной; *е* — высокий

гулирующую аппаратуру. Одна такая установка может обслуживать несколько станков.

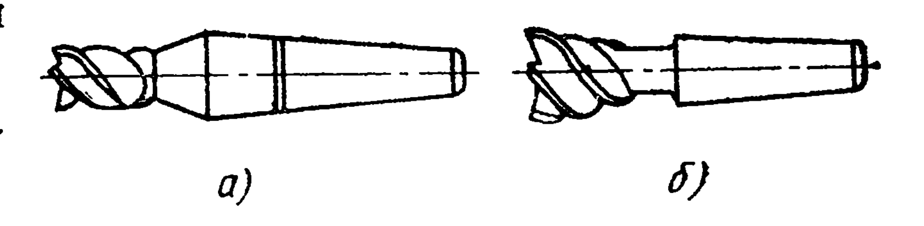
Пневмогидроусилитель состоит из комплекта пневматического и гидравлического цилиндров; соотношение их диаметров таково, что площадь пневмоцилиндра в 20 раз больше площади гидроцилиндра, тем самым давление воздуха в 0,5 МПа приводит к получению рабочего давления масла в 10,0 МПа.

Иногда для привода зажимного устройства используют наборы тарельчатых пружин по ГОСТ 3057—79, а с помощью гидравлики снимается усилие и раскрепляется заготовка.

§ 4. РЕЖУЩИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ К ФРЕЗЕРНЫМ СТАНКАМ

Наиболее распространенный режущий инструмент для работы на фрезерных станках с ЧПУ — фрезы. Они бывают стандартными и специальными, приспособленными для работы в особых, трудных условиях. Например, для концевых фрез можно отметить следующие особые случаи, требующие специальных конструктивных решений: 1) облегчение выхода стружки при обработке глубоких глухих колодцев в результате уменьшения числа зубьев и увеличения угла наклона спирали; 2) изменение направления осевой составляющей силы резания таким образом, чтобы за счет этой составляющей деталь прижималась к столу станка; достигается это применением праворежущих фрез с левой спиралью

Рис. 105. Специальные концевые фрезы



и леворежущих с правой спиралью; 3) уменьшение вибраций при резании, что обеспечивается несимметричным расположением зубьев фрезы; 4) особое затачивание торца двузубых и четырехзубых фрез, позволяющее осуществлять вертикальное врезание в металл; 5) повышение жесткости режущей части инструмента в результате того, что канавки имеют переменную глубину (конический сердечник); 6) увеличение вылета инструмента с сохранением его жесткости за счет усиленного тела фрезы (рис. 105, *а*); 7) конические концевые (рис. 105, *б*) и фасонные фрезы для образования сложных криволинейных поверхностей.

Торцовые фрезы в основном имеют стандартную конструкцию. Все более широкое использование находят фрезы с механическим креплением пластин из твердого сплава или сверхтвердых режущих материалов.

Рис. 106. Крепление режущих инструментов:

а — торцовой фрезы; *б* — концевой фрезы; *в* — концевой фрезы через переходную втулку; *г* — сверла

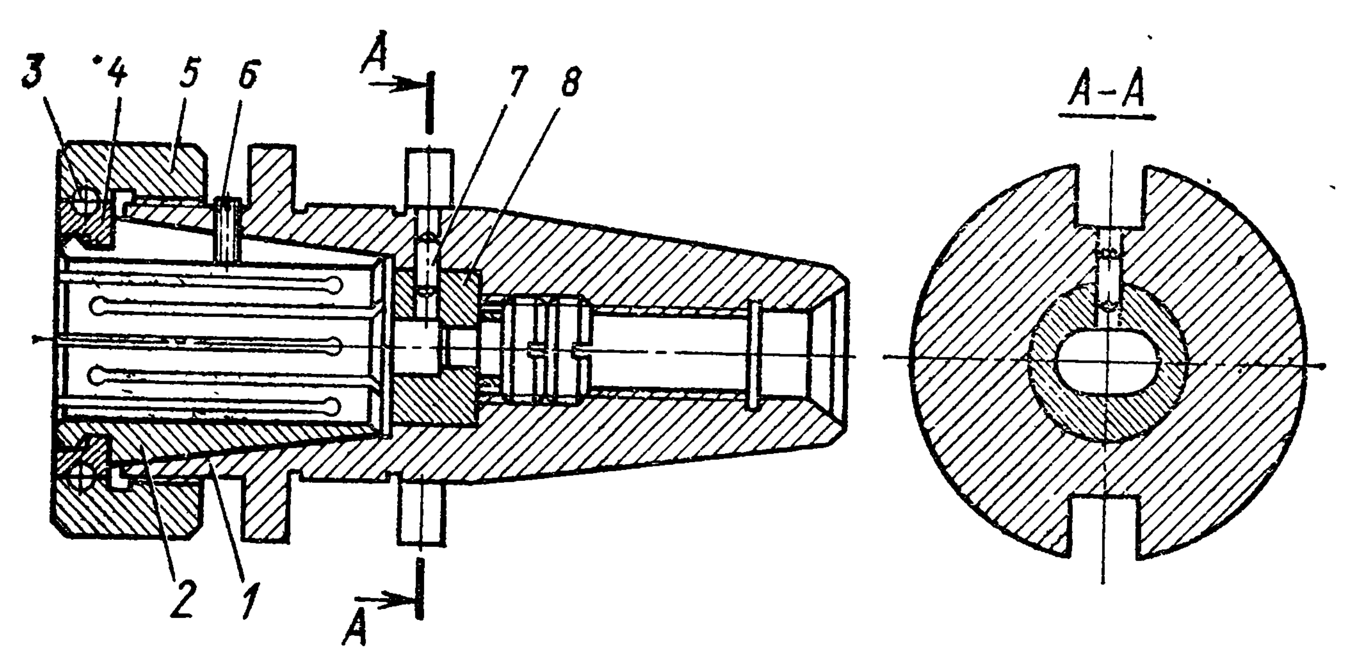


Рис. 107. Цанговый патрон для крепления инструментов с цилиндрическим хвостовиком

Режущие инструменты закрепляют в переходных втулках, патронах, оправках. На рис. 106 изображено крепление концевых и торцовых фрез, а также сверл. Концевые фрезы необходимо затягивать непосредственно или через переходные втулки в коническое отверстие вспомогательного инструмента с помощью специальных винтов.

Для крепления концевых фрез большого диаметра (40, 50, 63 мм) с цилиндрическим хвостовиком разработана конструкция цангового патрона (рис. 107). Такой патрон обеспечивает передачу крутящего момента и восприятие осевой и радиальной сил, действующих при фрезеровании. В передней части корпуса *1* размещена цанга *2*, которая гайкой *5* крепит хвостовик фрезы. Для затягивания цанги в конус и вытягивания из конуса гайка снабжена сборным буртом (кольцом) *4*, связанным с гайкой шариками *3*. При вращении гайки шарики передают на кольцо и далее на цангу осевую силу, разгружая цангу от действия тангенциальных сил, что приводит к повышению точности крепления инструментов. Крутящий момент на хвостовик фрезы передается сухарем *8*, который зафиксирован штифтом *7* в корпусе *1*. Для предотвращения вытягивания концевых фрез из патрона предусмотрен боковой фиксирующий винт *6*, передняя часть которого упирается в соответствующую лыску фрезы.

§ 5. НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

При разработке оптимальной траектории фрезерования концевой фрезой следует руководствоваться следующими правилами: 1) началом и концом траектории должна быть одна и та же точка; 2) для врезания в припуск нужно выбрать выпуклый участок контура заготовки, к вершине которого можно подходить по касательной; к плоскости или вогнутой поверхности подход осуществлять под малым углом (3—5°) или по дуге окружности, касатель-

ной к обрабатываемому контуру; 3) в случае подхода к обрабатываемой поверхности с перемещением по оси Z врезание нужно производить либо с опусканием фрезы в предварительно высверленное отверстие, либо зигзагообразным движением под углом 10—15° к горизонтальной плоскости, возможно врезание с перемещением по спирали с углом подъема 10—15°; 4) направление движения центра фрезы по траектории следует выбирать таким, чтобы происходило попутное фрезерование (по подаче), при котором достигается меньшая шероховатость обработки при более высокой стойкости режущего инструмента, схему фрезерования против подачи можно применять при работе по корке; 5) во избежание «зарезов» недопустима остановка фрезы или резкое изменение подачи в процессе резания; перед остановкой или резким изменением подачи, перемещением инструмента необходимо обеспечить его отвод от поверхности по касательной или под малым углом.

§ 6. ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК 6Р13Ф3

Вертикально-фрезерный консольный станок 6Р13Ф3 с размерами стола 400×1600 мм и мощностью главного привода 7,5 кВт предназначен для обработки плоских или пространственных изде-

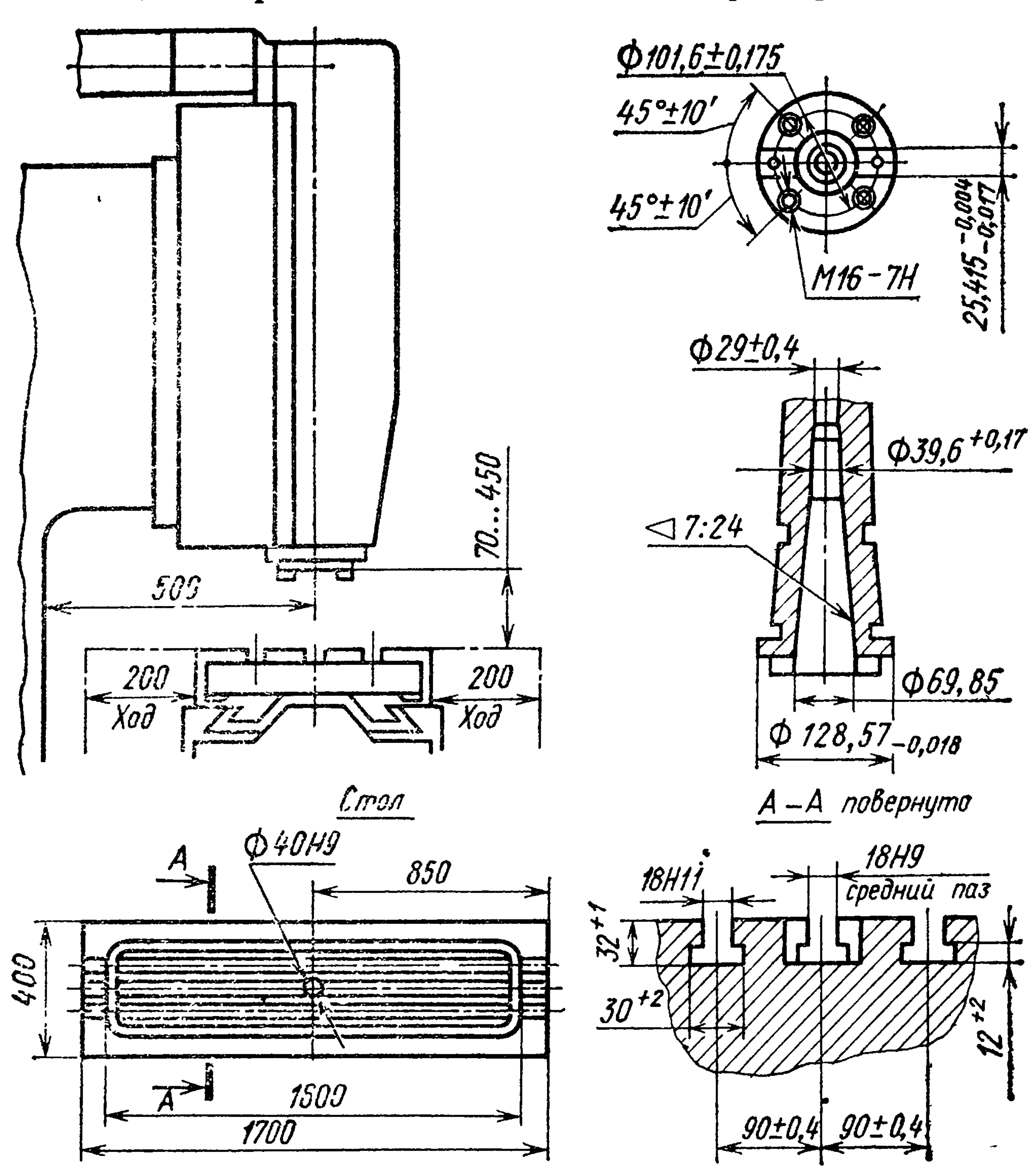


Рис. 108. Технологические возможности станка 6Р13Ф3

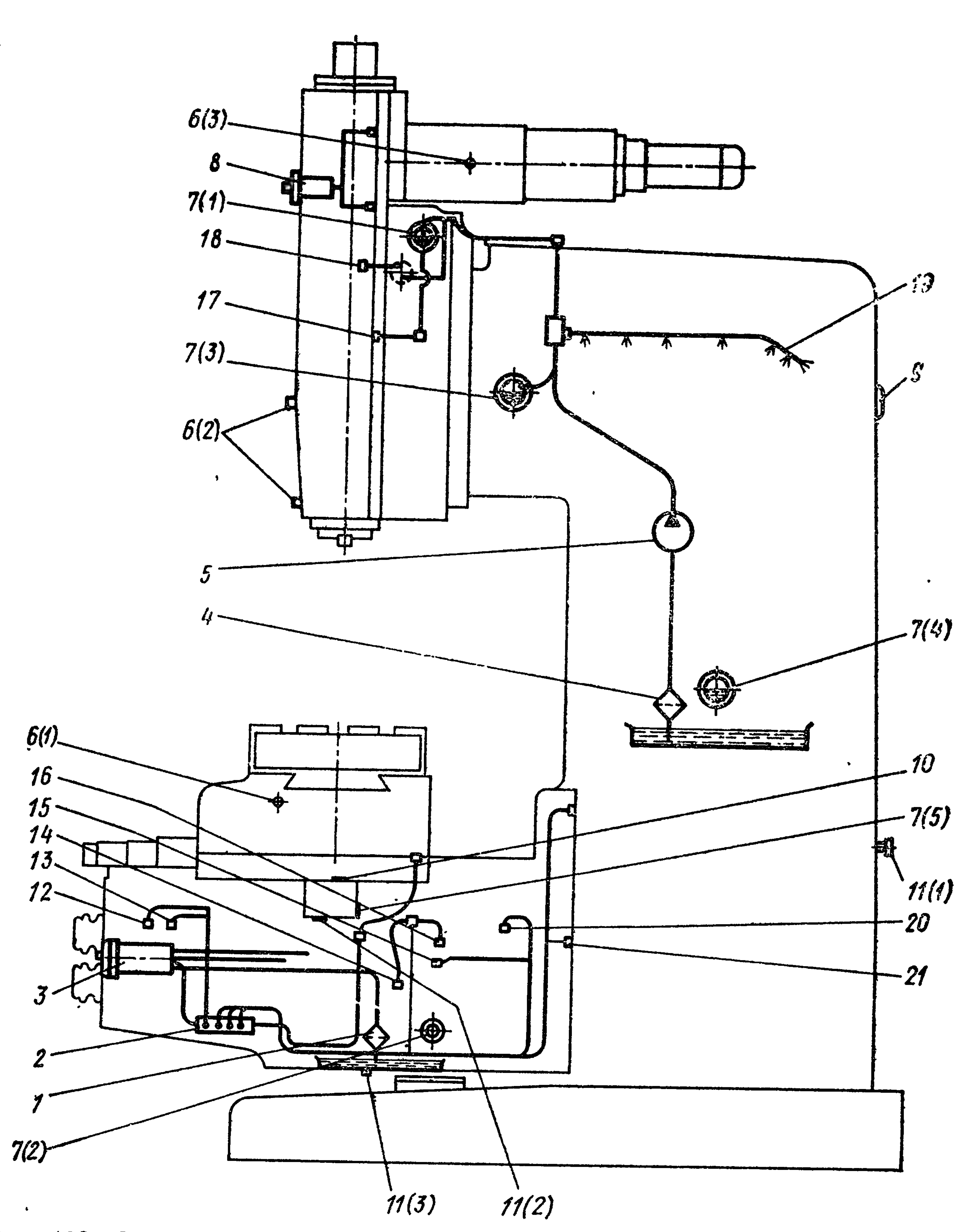


Рис. 109. Схема смазки станка Р613Ф3:

1 — фильтр; *2* — маслораспределитель; *3* — насос для смазывания стола, салазок, консоли; *4* — сетчатый фильтр; *5* — плунжерный насос; *6* (*1*)—*6* (*3*) — пресс-масленки; *7* (*1*)—*7* (*5*) — маслоуказатели; *8* — насос для смазывания направляющих ползуна; *9* — отверстие для заливания масла в резервуар станины; *10* — отверстие для заливания масла в резервуар редуктора; *11* (*1*)—*11* (*3*) — сливные отверстия; *12*—*21* — точки смазки

лий сложного профиля из сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов торцовыми, концовыми, сферическими и фасонными фрезами, сверлами, зенкерами, метчиками, развертками, резцами и другими режущими инструментами. Точность обработки 0,08 мм, повторяемость размеров 0,04 мм. Устройство ЧПУ—Н33-1М, цена импульса 0,01 мм. Приведенные на рис. 108 предельные размеры обрабатываемой детали, посадочные и базовые поверх-

ности шпинделя и стола станка дают необходимую информацию для выбора или проектирования вспомогательных инструментов и крепежных приспособлений, проверки возможности обработки заготовок различных размеров.

Механизированный зажим инструментов в шпинделе производится с помощью электромеханической головки, установленной в верхней части ползуна. Ранее в станках данной модели зажим производился набором тарельчатых пружин, а отжим — гидравлическим цилиндром.

Смазка станка обеспечивается несколькими системами (рис. 109).

1. Циркуляционная смазочная система коробки скоростей включает в себя расположенный в станине резервуар, фильтр *4*, плунжерный насос *5*, маслораспределитель, трубопроводы и маслоуказатели. Насос работает от эксцентрика, смонтированного на одном из валов коробки скоростей и подает масло для смазывания коробки скоростей через маслораспределитель. Контроль уровня масла в резервуаре осуществляется визуально с помощью маслоуказателя *7* (*4*), контроль работы данной системы производится по маслоуказателю *7* (*3*).

2. Смазывание направляющих консоли, стола, салазок и механизмов подач происходит при воздействии на кнопку насоса ручной смазки. В эту систему входят резервуар, размещенный в консоли, фильтр *1*, насос ручного смазывания *3*, маслораспределитель *2*, маслоуказатель *7* (*2*) и трубопроводы.

3. Смазывание разбрызгиванием деталей редуктора продольного перемещения суппорта. Уровень масла в редукторе контролируют по маслоуказателю *7* (*5*).

4. Смазывание подшипников шпинделя и подшипников ходового винта продольного перемещения стола выполняют периодически шприцем через пресс-масленки *6* (*1*)—*6* (*3*).

5. Смазывание направляющих ползуна — от ручного насоса *8*. Отсутствие централизованной смазочной системы возлагает на обслуживающий персонал особую ответственность за своевременное смазывание в строгом соответствии с картой.

Для устранения бокового зазора в косозубых зубчатых колесах приводов подач (рис. 110) необходимо выполнить следующие работы: ослабить винты *2* (направляющие штифты *3* не снимать), снять полукольца *1* и *4*, прошлифовать полукольца на некоторую величину *h* и собрать в обратном порядке. Величина уменьшения бокового зазора в за-

Рис. 110. Беззазорная зубчатая передача привода подачи

48. Основные неисправности станка 6Р13Ф3 и методы их устранения

Внешнее проявление неисправности	Причина	Метод устранения
«Качка» при движении стола, салазок, ползуна	Увеличенный зазор в направляющих скольжения	Отрегулировать зазор с помощью клина
Увеличенная зона нечувствительности по координатным осям	Мал натяг в винтовых парах, появился зазор в зубчатых передачах	Отрегулировать винтовые пары качения и зубчатые передачи
Нестабильная отработка единичных импульсов	Повышенный натяг в направляющих скольжения	Отрегулировать зазор с помощью клина
Прекращение подачи масла	Засорение фильтров. Выход из строя насосов смазки	Прочистить фильтры. Заменить или отремонтировать насосы

цеплении δ зависит от величины осевого сближения колес h: $\delta = h \operatorname{tg} \beta \cos \alpha$, где β — угол наклона зубьев; α — угол зацепления. При $\beta = 15^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$ $\delta = 0{,}25h$.

При регулировании зазора в зацеплении колес следует помнить, что чрезмерный натяг так же недопустим, как и зазор, так как оба они влияют на возрастание зоны нечувствительности в цепи привода подач. Повышение натяга приводит к увеличению силы, необходимой для проворота зубчатых колес. В связи с нежесткостью кинематической цепи эта сила вызывает деформации, которые при смене направления подачи проявляются так же, как и зазоры, в виде задержки начала движения рабочего органа (см. гл. IV, § 10). Наличие зазора в зацеплении следует проверять визуально покачиванием оси ведущего колеса *5*, наблюдая за покачиванием оси *6* ведомых колес.

Основные неисправности станка 6Р13Ф3 и методы их устранения приведены в табл. 48.

Глава XII

МНОГООПЕРАЦИОННЫЕ СТАНКИ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И КОМПОНОВКИ СТАНКОВ

Многооперационные станки с ЧПУ (МС) — станки, предназначенные для многоцелевой обработки, отличаются от станков с ЧПУ обычного исполнения главным образом наличием устройства для хранения и автоматической смены режущих инструментов. Технологические возможности МС чрезвычайно широки, на них можно выполнять фрезерование, сверление, растачивание,

нарезание резьб, развертывание и т. д. в большинстве случаев при одном установе заготовки. Выпуск МС как в нашей стране, так и за рубежом неустанно возрастает.

МС обладают среди всех станков с ЧПУ наивысшей степенью универсальности. На одном и том же станке можно обрабатывать разнообразные по конструкции и назначению детали: корпусные и плоскостные детали, рычаги, вилки, планки, кронштейны и т. д. Менее распространены МС для обработки деталей типа тел вращения.

Основные особенности современных МС: автоматизация всего цикла обработки (формообразования, изменения режимов резания, выполнения вспомогательных команд); многоинструментность в результате последовательно вводимых в работу разнообразных инструментов; быстродействие при выполнении вспомогательных команд и холостых перемещений, повышение доли основного времени в операционном до 70—90 %; повышенная точность обработки; возможность быстрой переналадки.

В этой главе рассмотрим станки для обработки корпусных и плоскостных деталей.

Наличие у станков поворотных столов позволяет во многих случаях осуществлять обработку сложных корпусных деталей со всех сторон, кроме базовой поверхности, по которой произведена установка и закрепление. Высокая точность МС обеспечивает возможность выполнения как черновых, так и чистовых операций, благодаря чему на МС можно производить полную обработку детали без каких-либо дополнительных доделок.

Компоновки многооперационных станков весьма разнообразны (рис. 111). Многие из них сохранили внешние черты и особенности компоновок универсальных станков с ручным управлением. Однако при внешнем сходстве на МС существенно изменены все основные узлы и механизмы. Минимальное число управляемых координат в МС — три. Для расширения технологических возможностей увеличивают число координат. Четвертая управляемая координата может быть предназначена на дополнительное продольное перемещение шпинделя, пиноли, ползуна, пятая — на поворот стола, шестая — на программируемое поперечное выдвижение расточного инструмента в специальной план-суппортной головке.

МС для корпусных деталей можно разделить на две группы, характеризуемые расположением оси шпинделя относительно рабочей поверхности стола: с перпендикулярным расположением шпинделя к зеркалу стола (вертикальным) (табл. 49); с параллельным расположением шпинделя относительно зеркала стола (горизонтальным) (табл. 50).

Вертикальный шпиндель и горизонтальный стол станков первой группы обеспечивают доступ инструментов к одной стороне заготовки. Такие станки особенно выгодно применять для деталей, у которых объем обработки с одной стороны превышает объемы

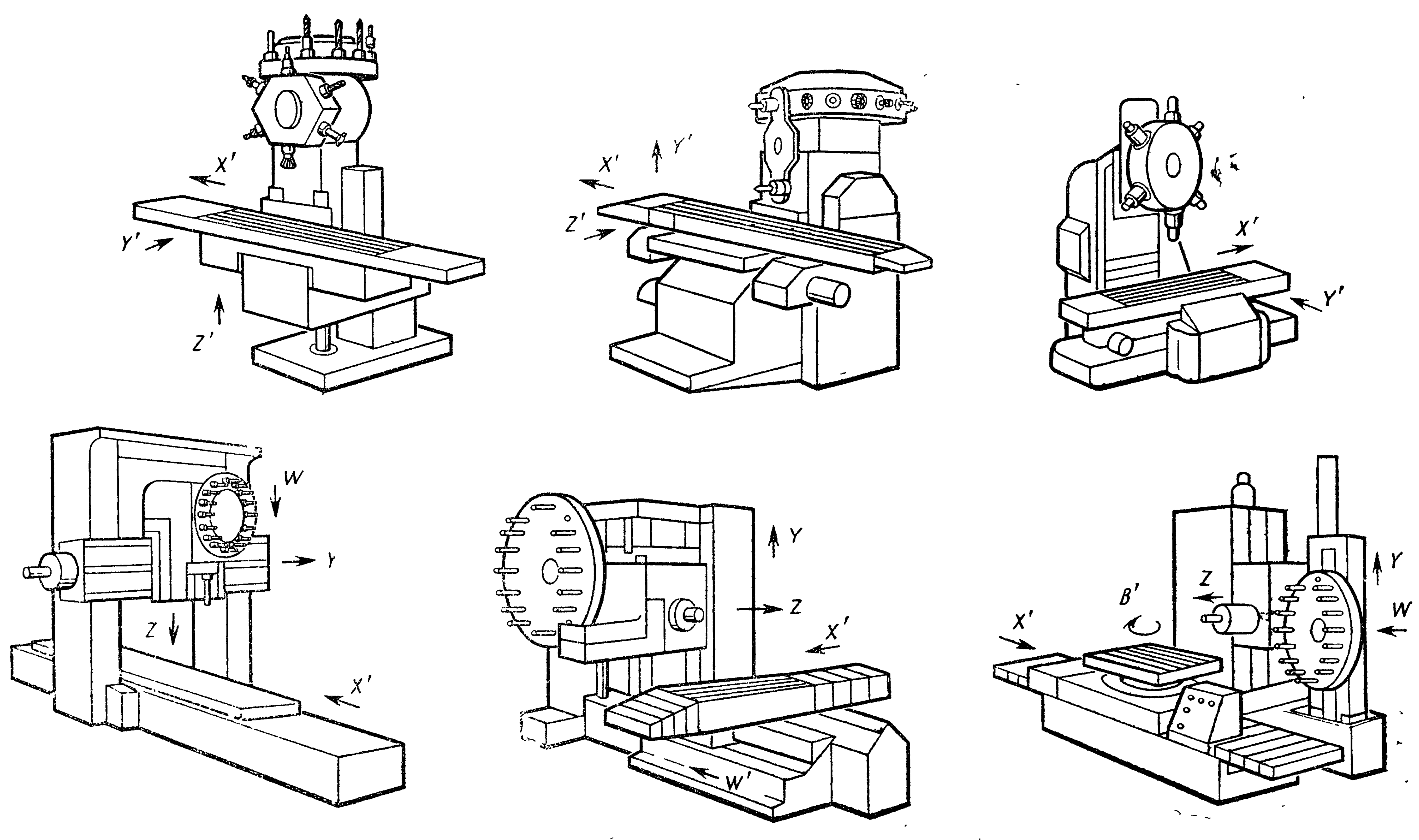


Рис. 111. Компоновки многооперационных станков

49. Технические характеристики многооперационных станков с вертикальным расположением шпинделя

Характеристика	243ВФ4	6Р11МФ3В	6560МФ3
Размер рабочей поверхности стола, мм:			
ширина	320	250	630
длина	560	1000	1 600
Расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола, мм:			
наименьшее	125	20	125
наибольшее	500	400	900
Наибольшее перемещение стола, мм:			
продольное	400	630	1 250
поперечное	250	300	630
Диаметр отверстия шпинделя (кроме 243ВФ4), мм	Морзе 3	45	50
Частота вращения шпинделя, об/мин	40—2500	63—2500	5,6—2 000
Рабочая подача, мм/мин	3,15—2500	5—2500	0,1—4 800
Скорость вспомогательных перемещений, мм/мин	3000	4800	9 600
Число инструментов в магазине	30	8	24
Мощность главного привода, кВт	2,2	4,8	11
Устройство ЧПУ	«Размер 2М»	Н33-2М	Н33-2М
Габаритные размеры станка, мм:			
длина	1760	2690	3 440
ширина	1625	2400	3 490
высота	2660	2440	4 120
Масса станка, кг	3500	3800	16 500

обработки с других. Можно успешно обрабатывать на них за одну операцию несколько сторон, используя переналаживаемые многопозиционные приспособления (см. рис. 102). Применяют также на станках с вертикальным шпинделем поворотные, кантующиеся приспособления с горизонтальной осью, позволяющие размещать на отдельных их поверхностях обрабатываемые детали в различных положениях. Поворотные приспособления, расширяя возможности станка, понижают жесткость системы СПИД и занимают значительную часть рабочего пространства станка, под которым понимают пространство над рабочей поверхностью стола в виде параллелепипеда со сторонами, равными величинам координатных перемещений рабочих органов (область досягаемости зон обработки).

Более высокие жесткость и точность в станках средних размеров достигаются при компоновке, аналогичной бесконсольно-фрезерным и одностоечным координатно-расточным станкам. В этих станках рабочий стол перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости. Вертикальное перемещение вдоль направления оси шпинделя имеет шпиндельная бабка

Тяжелые МС с вертикальным расположением шпинделя изготавливают по типу портальных станков.

50. Технические характеристики многооперационных станков с горизонтальным расположением шпинделя

Характеристика	ИР500МФ4	6305Ф4	2623ПМФ4
Рабочая поверхность стола, мм:			
длина	500	1 250	1 250
ширина	500	500	1 120
Диаметр встроенного круглого стола, мм	—	630	—
Наибольшая масса обрабатываемой детали	700	1 000	4 000
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола, мм:			
наименьшее	10	0	0
наибольшее	510	800	1 250
Наибольшие перемещения, мм:			
поперечное	800	1 250	1 000
вертикальное	500	500	1 250
продольное	500	415	1 000
продольное шпинделя	—	—	500
Круговое вращение стола, град.	72 позиции	360	360
Диаметр выдвижного шпинделя, мм	—	—	110
Отверстие шпинделя	50	50	50
Частота вращения шпинделя, об/мин	21,2—3 000	16—1 600	5—1 250
Рабочая подача, мм/мин	1—2 000	10—2 500	2—1 600
Скорость вспомогательных перемещений, мм/мин	10 000	4 800	8 000
Число инструментов в магазине	30	24	50
Наибольший диаметр рядом стоящих в магазине инструментов, мм	110	160	160
Наибольшая масса инструментов, кг	15	16	25
Мощность главного привода, кВт	14	11	15
Устройство ЧПУ	«Fanuc 3000С»	Н55-1М	Н55-2
Дискретность отсчета, мм	0,001	0,01	0,01
Число управляемых координат	3	4	5
Габаритные размеры станка, мм:			
длина	4 200	4 300	8 300
ширина	3 750	4 300	7 500
высота	3 100	2 650	4 500
Масса станка, кг	11 000	15 000	31 000

Станки с горизонтальным расположением шпинделя чаще всего снабжают поворотным столом, который создает условия для обработки детали с разных сторон, т. е. МС этой группы имеют компоновку горизонтально-расточных станков. Можно выделить три основных исполнения (рис. 112):

с неподвижной стойкой и крестовым столом, имеющим продольное и поперечное по отношению к оси шпинделя перемещения (рис. 112, *а*);

с продольно-подвижной стойкой и столом, имеющим поперечное перемещение (рис. 112, *б*).

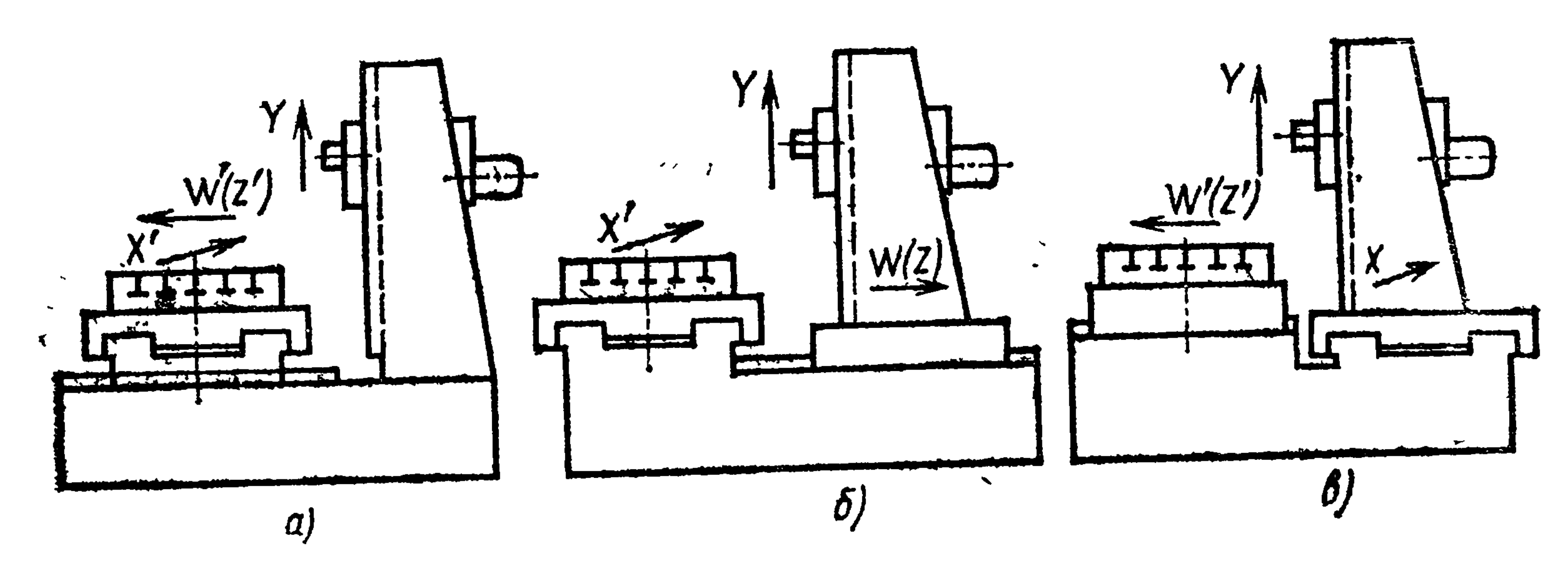


Рис. 112. Станки с горизонтальным расположением шпинделя

Иногда станки этого типа изготавливают с дополнительным продольным перемещением шпиндельной бабки;

с поперечно-подвижной стойкой и столом, имеющим продольное перемещение (рис. 112, *в*) или с неподвижным столом, но в этом случае стойка имеет дополнительное продольное перемещение.

Во всех этих исполнениях станков шпиндельная бабка имеет перемещение по вертикальным направляющим стойки.

Исполнение с крестовым и встроенным поворотным столом широко применяют в отечественном станкостроении.

В очень тяжелых станках стол неподвижен.

Многооперационные станки обычно изготавливаются по классу точности П и для выполнения особо точных работ по классу В. Зона нечувствительности современных станков компенсируется автоматически дополнительным перемещением при каждой смене направления движения подачи, тем не менее подход к заданным координатам при позиционировании для выполнения точных работ всегда необходимо осуществлять с одной и той же стороны на одинаковом режиме торможения. Односторонний подход заложен в виде стандартного цикла для большинства позиционных устройств ЧПУ.

В конструкции современных МС наблюдается тенденция к переходу от дискретности задания перемещений в 0,01 мм к дискретности в 0,001 мм и от чувствительности (наименьшего отрабатываемого перемещения) в 0,005 мм к чувствительности 0,001—0,002 мм. Дискретность и чувствительность станка в 0,001 мм удовлетворяют по точности отсчета размеров любым потребностям современного машиностроения.

§ 2. УСТРОЙСТВА СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТОВ

Простейшим устройством, реализующим принцип многоинструментности, является револьверная головка. Однако револьверные головки в МС не нашли широкого применения, так как им присущи некоторые существенные недостатки. Шести—восьми инструментов недостаточно для осуществления полной обработки достаточно сложной детали. Шпиндельные узлы револьверной

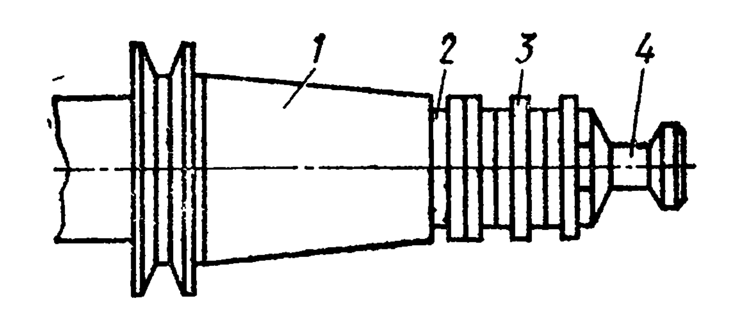


Рис. 113. Размещение кодовых колец на инструментальных оправках:

1 — корпус оправки; *2* — промежуточное кольцо; *3* — кодовое кольцо; *4* — штырь

головки не обладают необходимой жесткостью. Кроме того, закрепленные в соседних позициях револьверной головки длинные инструменты препятствуют работе с большими ходами, когда необходимо углубиться в тело заготовки.

Магазины инструментов МС имеют емкость для хранения до 100 инструментов. По конструктивному оформлению магазины разнообразны (дисковые, цепные, кассетные и др.). Магазины располагают на шпиндельной бабке, колонне, станине, столе станка и даже вне станка на отдельном фундаменте.

В конструкциях МС применяют три системы поиска необходимых инструментов: с кодированием номера инструмента; с кодированием номера гнезда магазина; без кодирования, но с расположением инструментов в последовательности обработки.

При кодировании номера инструмента инструментальную оправку снабжают набором сменных кодовых колец двух диаметров (рис. 113). При вращении магазина кольца большого диаметра нажимают на электрические конечные выключатели, установленные на неподвижных элементах магазина. Комбинация сигналов от набора конечных выключателей сравнивается с заданным кодом, соответствующим номеру инструмента, и при совпадении сигналов дается команда на останов вращения магазина. Кодирование инструментов обычно выполняется в двоично-десятичной системе, кодовые кольца размещаются по дорожкам с весами 1, 2, 4, 8 для разряда единиц и отдельно для разряда десятков.

Поиск инструмента при кодировании номера гнезда магазина осуществляется несколько иначе. При каждом включении станка в сеть происходит поворот магазина до базового гнезда № 1 для настройки системы поиска нужного гнезда. В дальнейшем устройство ЧПУ всегда имеет информацию, в каком положении находится магазин, в связи с чем поворот в требуемую позицию совершается по кратчайшему пути, даже минуя гнездо № 1.

При кодировании номера инструмента магазин заряжается в произвольном порядке, при кодировании номера гнезда расстановку инструментов в магазине нужно выполнять в строгом соответствии с порядком, установленным управляющей программой. При кодировании номера инструмента нет необходимости в повороте магазина в момент возврата инструмента в магазин, так как сменяемый инструмент может устанавливаться автоматической рукой в произвольное гнездо магазина.

Третья система поиска инструмента, при которой инструменты расположены в магазине в последовательности обработки, допускает пропуски гнезд, оставляя их без инструментов. После

каждого цикла смены магазин совершает поворот до подхода в позицию разгрузки-загрузки следующего инструмента. После выполнения всей операции обработки окажется, что инструменты сохранили первоначальную последовательность, сместившись в магазине на один или несколько шагов против исходного положения.

Чаще всего инструмент из магазина в шпиндель передается с помощью специального манипулятора автоматической поворотной двухзахватной руки. Ось шпинделя в момент загрузки располагается так, что ось поворота руки находится на равном расстоянии между осью шпинделя и разгрузочно-загрузочной позицией магазина. Оба конца руки снабжены специальными пружинными захватами.

Инструмент с помощью автоматической двухзахватной руки заменяется следующим образом:

рабочие органы смещаются в позицию смены инструментов;

автоматическая рука из исходного горизонтального положения поворачивается в вертикальное, отжимая захваты инструмента в магазине и захватывая одновременно инструмент в магазине и отработавший инструмент в шпинделе;

механизм закрепления освобождает инструмент в шпинделе;

автоматическая рука, перемещаясь вперед, извлекает инструменты из шпинделя и магазина;

автоматическая рука с инструментами поворачивается на 180° и инструменты меняются местами, если закодированы инструменты;

при кодировании гнезда магазина происходит поворот магазина до того свободного гнезда, в которое необходимо поместить сменяемый инструмент;

автоматическая рука перемещается назад, посылая отработавший инструмент в гнездо магазина, а новый — в шпиндель станка;

механизм закрепления зажимает инструменты в шпинделе;

автоматическая рука поворачивается в горизонтальное положение;

рабочие органы перемещаются в рабочую зону станка, возобновляя процесс обработки;

при поступлении команды от управляющей программы магазин поворачивается и последующий инструмент занимает разгрузочно-загрузочную позицию.

Смена инструмента в современных МС происходит за малые промежутки времени. Весь цикл приемов занимает 9—18 с. Эти затраты времени называют временем «от стружки до стружки» (от «реза до реза»), в отличие от затрат времени в 3—6 с на выполнение собственно смены инструментов без включения времени на перемещение режущих инструментов к обрабатываемым поверхностям.

Условием производительного выполнения смены инструментов является совмещение с процессом обработки выхода требу-

емого инструмента в позицию смены. С этой целью поворот магазина заблаговременно совершается по адресу *Т* управляющей программы, а смена инструментов в необходимый момент по команде разрешения *М*06.

Далеко не во всех станках автоматическая рука извлекает инструмент непосредственно из гнезда магазина. Большие, тяжелые магазины цепного (конвейерного) типа обычно удаляют от зоны резания, устанавливают на отдельные фундаменты или крепят к станине станка. Удаленность от зоны резания благотворно сказывается на чистоте рабочих поверхностей конусов вспомогательных инструментов, так как брызги эмульсии и стружка из зоны резания не достигают гнезд магазина. Кроме того, удаленный магазин легче обслуживать в ходе выполнения операции, осматривать находящиеся в нем и участвовавшие в работе инструменты, заменять изношенные и даже пополнять магазин инструментами, если его емкость недостаточна для выполнения всей запрограммированной операции.

Инструмент из удаленного от зоны резания магазина доставляется в позицию загрузки-разгрузки с помощью промежуточного перегружателя, работа которого (извлечение инструмента из магазина, доставка его в зону действия автоматической руки и возврат отработавшего инструмента в магазин) совмещается с выполнением рабочими органами станка процесса обработки.

Любой магазин имеет ограничения по диаметру и массе устанавливаемого в нем режущего инструмента. Максимально допустимый диаметр равен шагу магазина, так как если в двух соседних гнездах окажутся инструменты с размерами, превышающими допустимые, то произойдет поломка. Применять инструменты с превышением допустимых диаметров можно при соблюдении определенных предосторожностей: соседние с крупногабаритным инструментом гнезда не должны быть заняты инструментом либо следует прервать автоматический цикл и произвести смену инструмента вручную, не отправляя его в магазин. Ограничения по массе обусловливаются грузоподъемностью автоматической руки.

§ 3. РЕЖУЩИЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ

На МС используют те же режущие инструменты, что на сверлильных, фрезерных и расточных станках с ЧПУ. Оправки (рис. 114) для крепления режущих инструментов имеют поверхности: *2* — для базирования в шпинделе станка, *4* — для установки и закрепления режущих и вспомогательных инструментов, *3* — контактирующие с захватами автоматической руки, *1* — для силового зажима в шпинделе станка и в некоторых случаях для установки элементов, кодирующих номер инструмента (см. рис. 113). В отечественных МС применяют базирование оправок

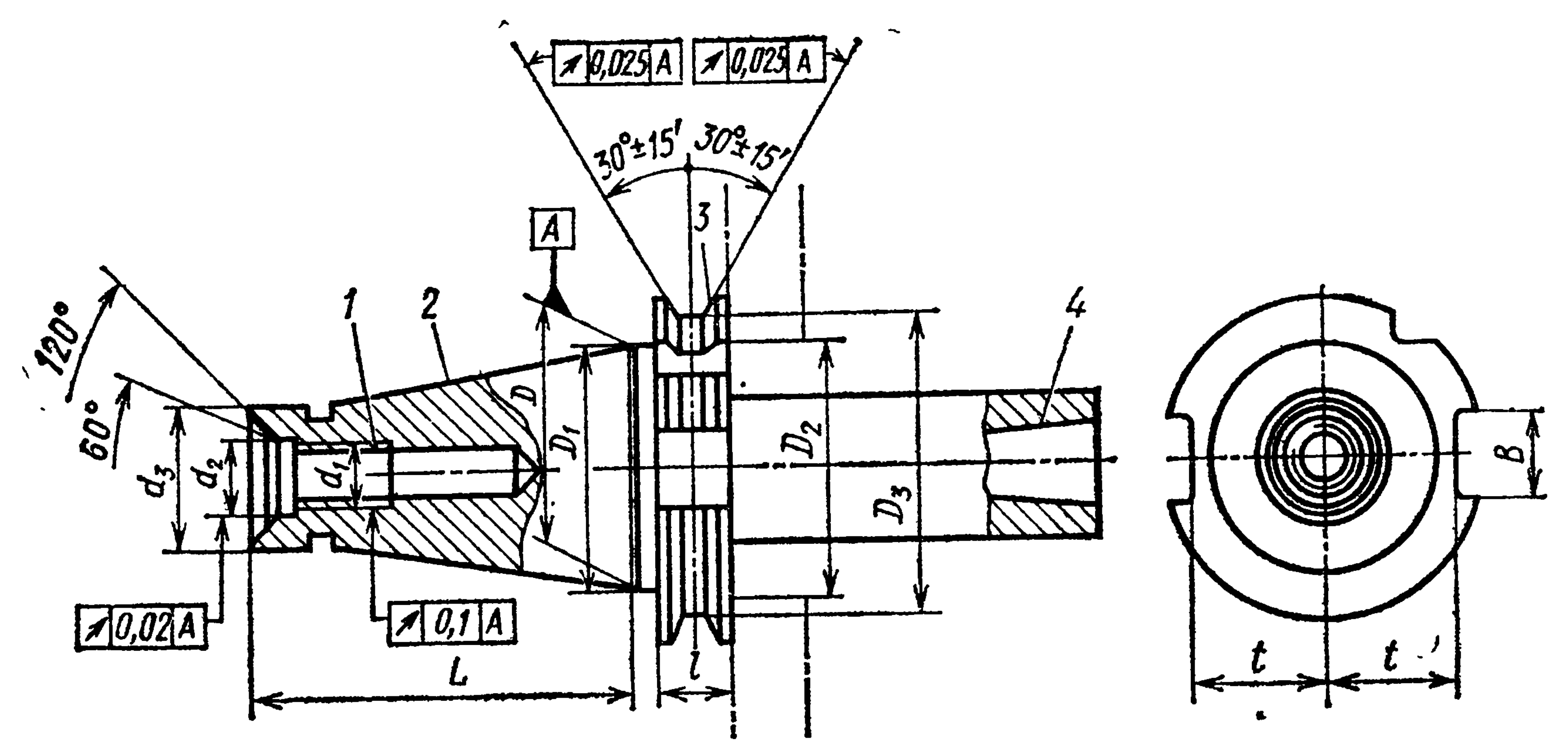


Рис. 114. Хвостовики оправок для многооперационных станков

по конической поверхности отверстия шпинделя с конусностью 7 : 24.

В настоящее время конструкция хвостовиков вспомогательных инструментов для многооперационных станков с ЧПУ регламентирована. По этому стандарту разрешено применять оправки с двумя номерами конусов: 40 и 50. Для сопряжения с автоматической рукой разрешено использовать только конические поверхности *3* с углом конуса 60°, выполненные в виде кольцевой выточки на фланце оправки. На фланце прорезаны два паза для сопряжения с торцовыми шпонками шпинделя.

Основные размеры хвостовиков оправок приведены в табл. 51.

Размер D_2 определяет свободное пространство для захвата автоматической рукой. Протяженность свободного пространства, очерченного на рисунке штрихпунктирными линиями, от торца фланца не менее 10 мм для хвостовика № 40 и не менее 16 мм для хвостовика № 50. Это пространство нельзя занимать элементами оправок и режущих инструментов. Коническая поверхность с конусностью 7 : 24 и кольцевая канавка под захват автоматической рукой должны иметь твердость *HRC* 52—56. Канавки для кодирования оправки разрешено выполнять на поверхности диаметром d_3 и на штырях под захват механизмом осевого закрепления.

51. Хвостовики оправок для многооперационных станков с ЧПУ (см. рис. 114)

Номер конуса	D	D_1	D_2	D_3	d_1	d_2	d_3	L	l	B	t, не более
40	44,45	44,5	58	63	M16	17	25,3	93,4	10	16,1	22,5
50	69,85	69,9	94	100	M24	25	39,6	126,8	12	25,7	35,3

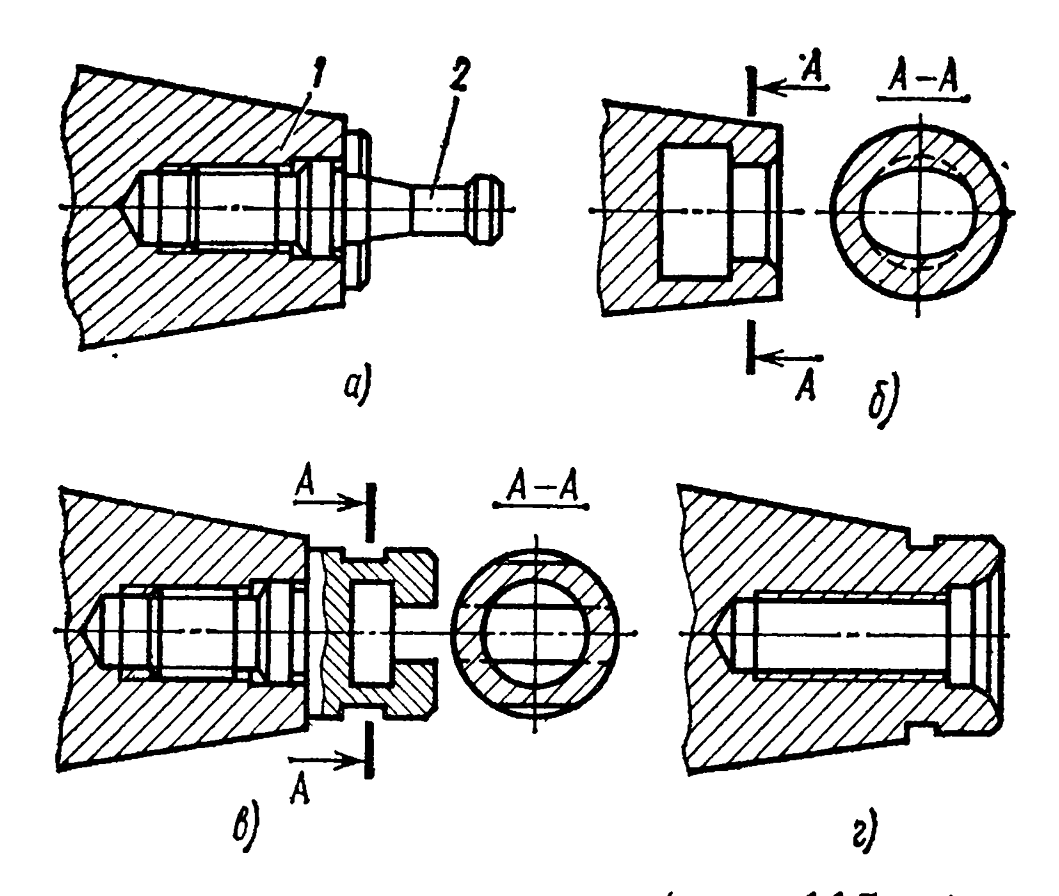


Рис. 115. Захватные устройства инструментальных оправок

Оправки в шпинделе закрепляют штоком, проходящим через шпиндель станка. Шток имеет на конце захватное устройство. Инструментальные оправки имеют соответствующие этому устройству наружные, внутренние или резьбовые поверхности захвата (рис. 115). При наружных поверхностях (рис. 115, *а*) в задний конец инструментальной оправки *1* ввертывают штырь *2* с заплечиками, за которые он тянет шток зажимного механизма станка. В некоторых станках можно встретить захват непосредственно по внутренней поверхности оправки, при котором со стороны заднего торца оправки расточена выточка с овальным входом (рис. 115, *б*). В других станках прямоугольный вход и выточка приданы штырям (рис. 115, *в*). Соответствующую некруглую форму имеет конец штока зажимного механизма станка. Шток, перемещаясь вперед, входит в выточку, поворачивается в ней на 90° и, перемещаясь назад, захватывает и закрепляет оправку.

При резьбовых поверхностях захвата (рис. 115, *г*) шток, вращаясь, ввинчивается непосредственно в оправку и затягивает ее в шпиндель станка.

На рис. 116 представлена система вспомогательных инструментов к многооперационным станкам. Ограниченная номенклатура вспомогательных инструментов позволяет закреплять разнообразные режущие инструменты и переходные оправки, втулки, патроны и др. Система инструментов может быть распространена также на станки расточной и фрезерной групп.

Широко применяют на МС при обработке отверстий кольцевые (корончатые) сверла для первых черновых проходов и расточные головки с микрометрической настройкой резцов для окончательных чистовых проходов.

Для крепления концевых фрез с коническими хвостовиками наряду с оправками, показанными на рис. 116, можно применить патрон, позволяющий заменять фрезы без разборки вспомогательной оснастки (рис. 117). Для закрепления фрезу можно навинтить на резьбу шпильки *2* до касания с конусом втулки *7*, а затем гайкой *6* подать втулку *7* вправо, создав тем самым натяг по коническим поверхностям фрезы и втулки *7*. Для удаления фрезы из патрона необходимо с помощью гайки *6* подать втулку *7* назад, а затем вывинтить фрезу из патрона.

Метчики закрепляют в специальных патронах (рис. 118), имеющих осевую компенсацию и фрикционный механизм перегрузки, срабатывающий при упоре метчика в дно отверстия или при его заклинивании. Осевая компенсация проявляется в смещении метчика вдоль оси при реверсировании вращения шпинделя для вывинчивания метчика из металла и при попадании вторым метчиком в нитку, нарезанную первым метчиком. Это осуществляется за счет того, что оправка *4*, несущая на переднем конце кулачковый патрон для крепления метчика, каждый раз возвращается в свое среднее вдоль оси положение под воздействием пружин *3* и *6*. Фрикционную муфту *5* необходимо регулировать гайкой *7* на требуемый крутящий момент резания, руководствуясь разметкой на гайке. Кулачки *1* зажимают метчик при навинчивании гайки *2*.

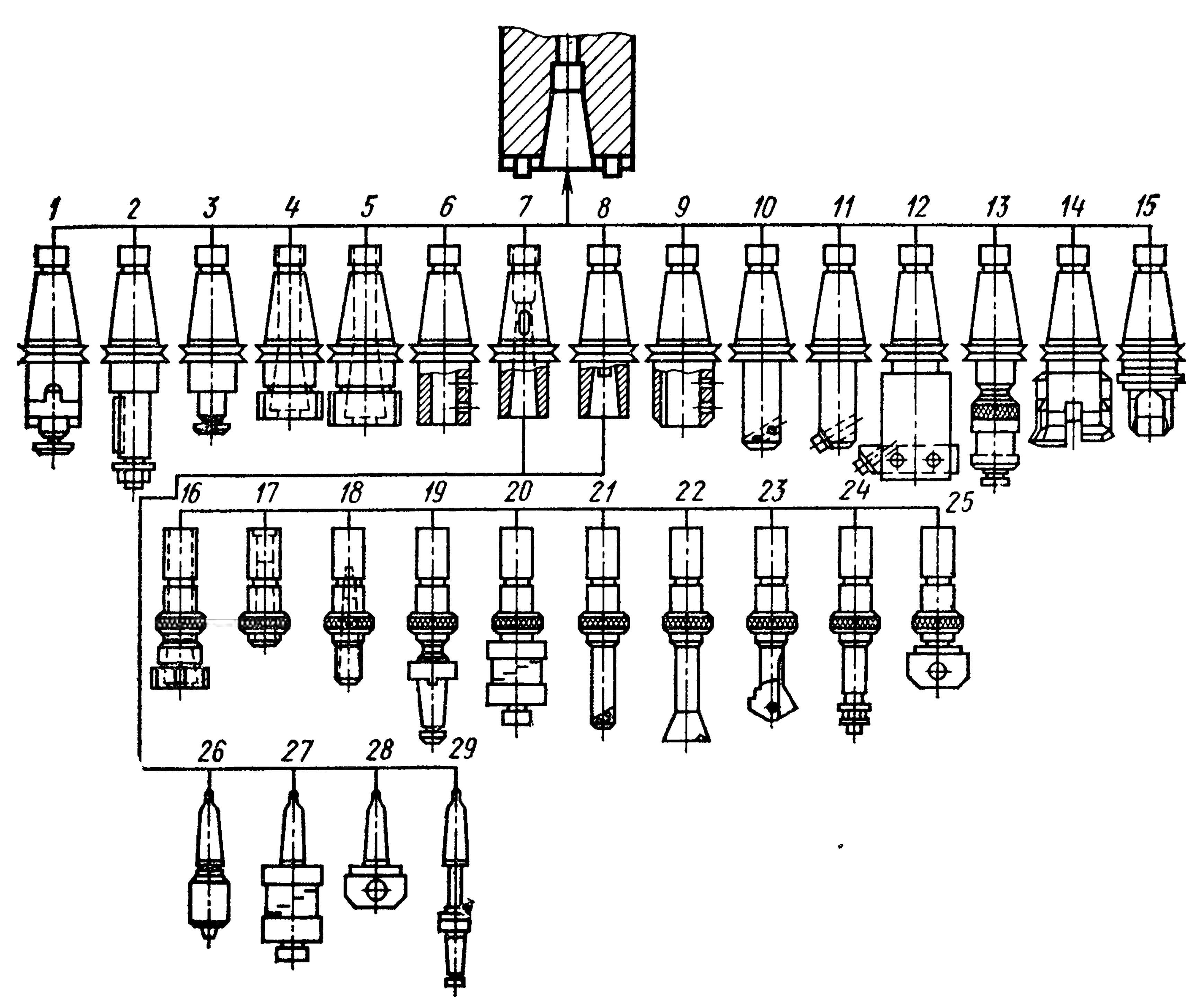


Рис. 116. Вспомогательный инструмент к многооперационным станкам:

1, 2, 3 — оправки для торцовых и других насадных фрез; *4, 5* — оправки с цанговым зажимом соответственно диаметром 5—20 мм и 20—40 мм; *6* — оправка для концевых фрез; *7* — втулка для инструмента с конусом Морзе с лапкой; *8* — втулка для инструмента с конусом Морзе с резьбовым отверстием; *9* — державка переходная; *10, 11* — расточные оправки; *12* — сборная расточная оправка; *13* — оправка для подрезных пластин; *14* — расточная двузубая головка; *15* — расточная универсальная головка; *16* — патрон цанговый диаметром 5—25 мм; *17, 18* — втулки с внутренним конусом Морзе; *19* — оправка для зенкеров и разверток; *20* — патрон резьбонарезной; *21* — оправка расточная; *22* — оправка расточная двузубая; *23* — оправка для пластин перовых сверл; *24* — оправка для дисковых фрез; *25* — регулируемый патрон для пластин перовых сверл; *26* — сверлильный патрон; *27* — резьбонарезной патрон; *28* — расточной патрон; *29* — оправка для зенкеров и разверток

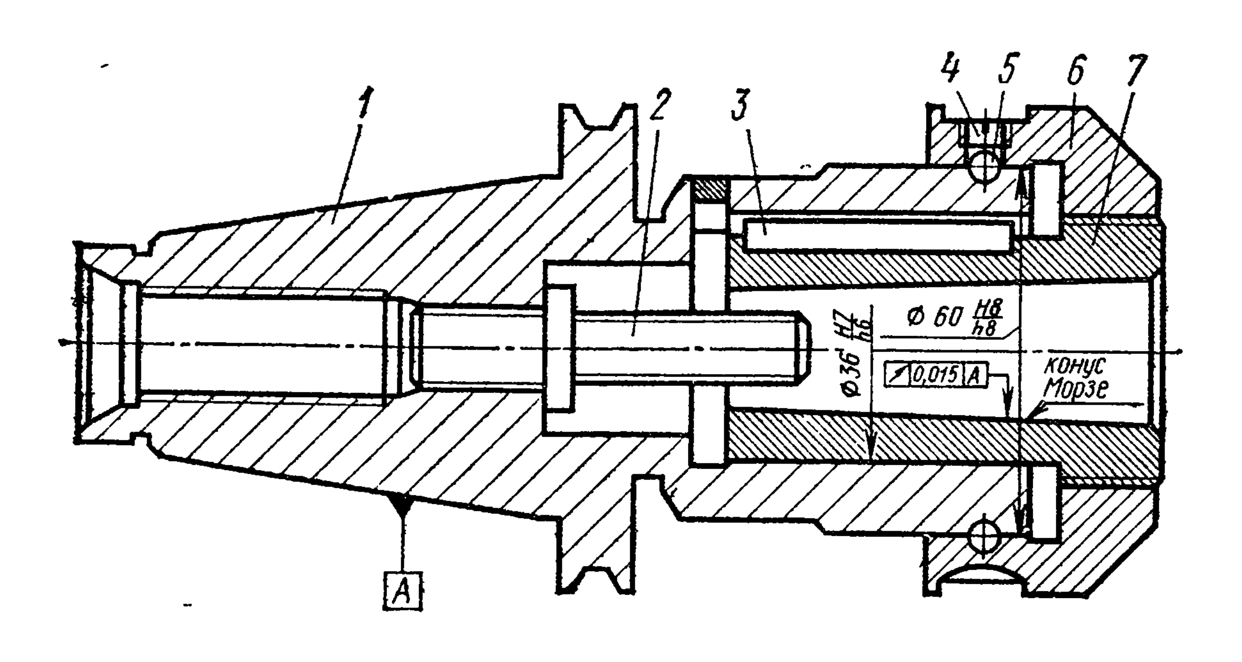


Рис. 117. Патрон для крепления фрез:

1 — корпус; *2* — шпилька; *3* — шпонка; *4* — винт; *5* — шарики (30 шт.); *6* — накладная гайка; *7* — втулка

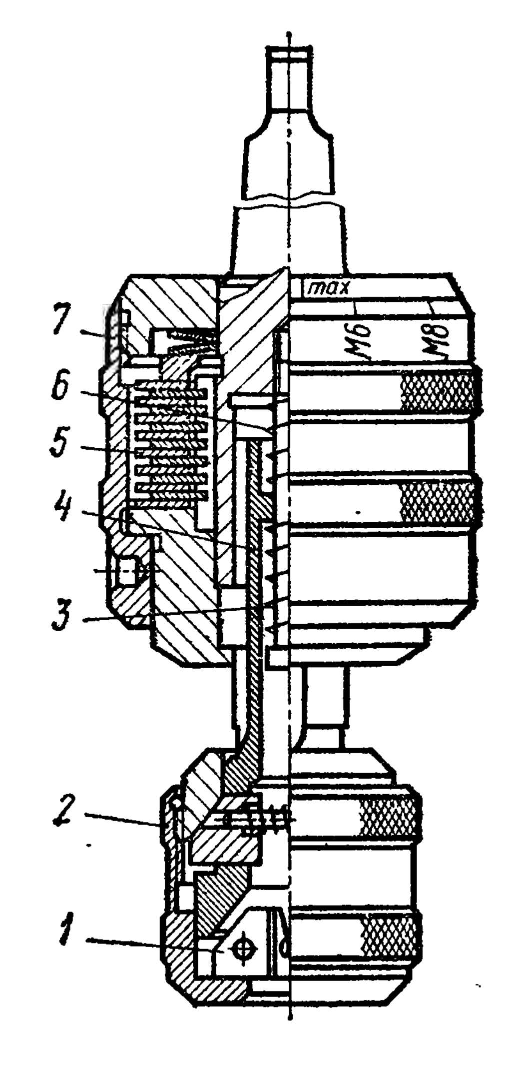


Рис. 118. Резьбонарезной патрон

§ 4. ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ

При проектировании технологического процесса следует изучить возможность выполнения наибольшего, желательно полного объема обработки детали (фрезерования, растачивания, сверления, резьбонарезания и т. д.) в одну операцию, за один установ. В этом случае неизбежно возникает задача базирования заготовки по необработанным поверхностям (черным базам). Одновременно следует решать задачу закрепления заготовки таким образом, чтобы крепежные элементы не затруднили доступ инструментов к местам обработки.

Безусловно, полная обработка с одного установа не всегда возможна, это зависит от конструкции детали. В принципе, если у детали имеются места обработки со всех шести сторон, обработать ее можно за два установа на станках с горизонтальным шпинделем и поворотным столом, так как за один установ возможна в этом случае обработка четырех сторон (либо пяти — при использовании глобусного стола).

Имеются также ограничения для чрезмерно высокой интеграции обработки, связанные с точностью детали. При обработке возникают коробления при снятии больших припусков и корки в литых заготовках. При интенсивных режимах возникает также нагрев и деформация заготовки. Эти обстоятельства требуют разделения обработки на черновые и чистовые проходы, нередко с проведением между ними искусственного или естественного старения. В менее ответственных случаях старение может быть заменено перерывом в обработке без снятия заготовки со станка. Такая возможность представляется при использовании приспо-

соблений-спутников и столов-спутников. После черновой обработки приспособление или стол вместе с закрепленной на нем деталью удаляется из рабочей позиции в загрузочную, в рабочую позицию поступает для обработки другая деталь. Создавшийся перерыв в обработке первой детали выполняет роль межоперационного пролеживания.

При необходимости разделить обработку на черновые и чистовые операции первые из них можно выполнить на станках менее высокой точности с меньшей емкостью инструментального магазина, так как во время черновой обработки обычно не производят сверление мелких отверстий и нарезание резьб, на что требуется большое число разнообразных инструментов.

Иногда полный объем обработки на МС невозможен в связи с чрезвычайно высокими требованиями к точности детали. Например, отверстия шпиндельной оси в коробке скоростей металлорежущего станка имеют столь высокие требования к соосности, которые не достижимы при обработке с двух сторон с поворотом стола. На станках, оснащенных позиционной системой программного управления, невозможно обрабатывать фасонные криволинейные поверхности, затруднена обработка кольцевых канавок, выточек, закрытых торцов.

Рассмотрим возможности, которые открывает контурная обработка на МС.

1. Фрезерование фасонных плоских и объемных поверхностей с интерполяцией по двум, трем и более осям.

2. Фрезерование отверстий концевой фрезой в режиме круговой интерполяции для снятия основного припуска в отверстиях различных диаметров. При этом методе обработки можно значительно сократить число используемых режущих инструментов, заменив одной фрезой один-два черновых инструмента на каждый типоразмер отверстия.

3. Прорезание резцом или фрезерование кольцевых канавок дисковой фрезой (рис. 119) в режиме круговой интерполяции.

4. Подрезание открытых и закрытых торцов, прилегающих к отверстиям. Для этой цели можно применять торцовые многозубые фрезы или резцы, закрепленные в оправках, которые в этом случае работают как однозубые фрезы. Вылет H резца (рис. 120) из оправки находят в зависимости от диаметра торца D_1, диаметра отверстия D, диаметра оправки d_1 и диаметра окружности d, по которой совершает планетарное движение подачи в режиме круговой интерполяции ось оправки: $H \geqslant \frac{D_1 - D}{2} + \frac{d_1}{2}$; $D > d + d_1$; $d > D_1 + d_1 - 2D$; $d = D_1 - 2H + 2a$.

Некоторые устройства ЧПУ имеют стандартный цикл подрезания торца при круговой интерполяции. На начальном этапе шпиндель находится в центре отверстия O (рис. 120, *б*), затем по дуге *1* перемещается до заданного диаметра окружности d,

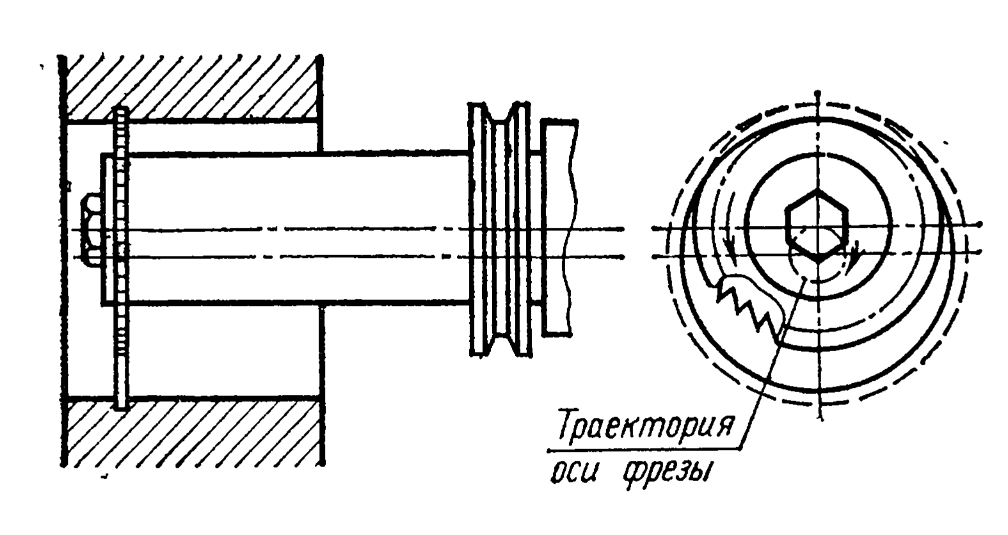


Рис. 119. Фрезерование кольцевой канавки в режиме круговой интерполяции

совершает по окружности (участки траектории *2—3—4—5*) полный оборот и возвращается в центр по дуге *6*.

При фрезеровании плоскостей используют фрезы сравнительно небольших диаметров, так как имеются ограничения по размерам, устанавливаемых в магазине инструментов (см. § 2 данной главы). Поверхности значительной протяженности обрабатывают строками. Строки могут быть продольными и поперечными. При чистовом фрезеровании далеко не безразлично, какое принять направление строк, так как ось шпинделя имеет различные по величине отклонения от перпендикулярности к обоим направлениям координатных перемещений, по которым может осуществляться подача. Зная особенности конкретного станка, можно выбирать для фрезерования то направление, которое приведет на обработанной поверхности к меньшим ступенькам на стыке строк.

При чистовом растачивании точных отверстий, для того чтобы резец не прочертил риску на обработанной поверхности при выходе из отверстия, следует произвести останов вращения шпинделя и отвод (отскок) по одному из перпендикулярных к оси шпинделя координатных направлений и только после этого выйти из отверстия. Такой прием возможен благодаря ориентированному останову шпинделя. Современные устройства ЧПУ имеют стандартный цикл растачивания, который завершается отскоком и выходом резца из отверстия по описанной схеме.

При выборе последовательности обработки необходимо придерживаться общего принципа компоновки операции: вначале выполнять предварительную обработку поверхностей основных форм (плоскостей, основных отверстий, выборок больших объ-

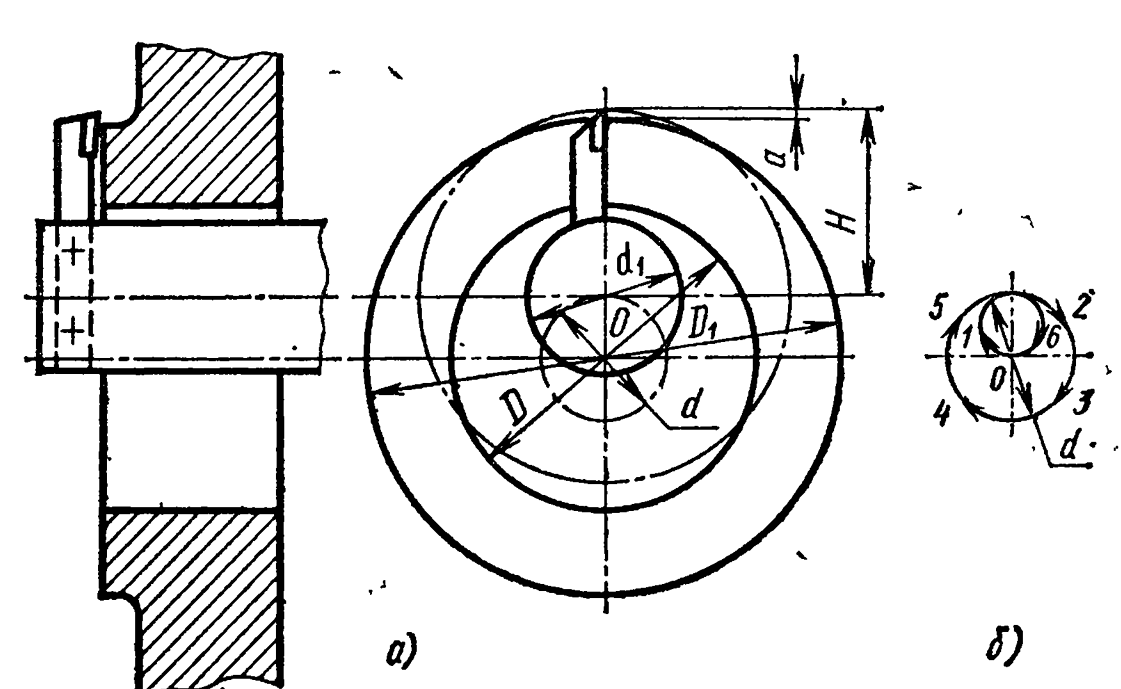


Рис. 120. Обработка резцом закрытого торца:
а — схема обработки; *б* — траектория движения центра оправки

емов), затем дополнительных форм (крепежных отверстий и др.) и завершать операцию чистовой обработкой поверхностей основных форм.

При наличии на разных сторонах детали поверхностей, обрабатываемых одним и тем же инструментом, возникает вопрос о выборе последовательности выполнения обработки. Возможно несколько вариантов, отличающихся числом смен инструментов и режимов резания, числом позиционирования рабочих органов, числом поворотов стола. Рассмотрим возможные варианты обработки отверстий в детали, имеющей одинаковые группы отверстий на разных сторонах.

Вариант 1. Полная обработка всеми инструментами каждого отверстия на одной стороне детали, затем поворот стола и обработка в той же последовательности отверстий второй стороны, и так далее на каждой стороне детали. Вариант отличается увеличенным числом смен инструментов, минимальным числом позиционирований и поворотов стола.

Вариант 2. Обработка одним инструментов всех отверстий с одной стороны детали, смена инструмента и работа вторым, затем третьим и так далее инструментом. После окончания обработки всех отверстий на первой стороне производятся поворот стола и обработка в указанной последовательности всех отверстий на второй стороне, затем на остальных сторонах детали. Вариант отличается от первого уменьшенным числом смен инструментов и минимальным числом поворотов стола.

Вариант 3. Последовательно обрабатываются каждым инструментом отверстия со всех сторон детали. При реализации этого варианта число смен инструментов становится минимальным, а число поворотов стола бóльшим.

При выборе варианта последовательности обработки нужно руководствоваться соображениями, в первую очередь, производительности, во вторую, надежности работы механизмов станка. В большинстве случаев оба эти требования позволяют отдать предпочтение варианту 2. Позиционирование обычно выполняется быстрее, чем смена инструмента и поворот стола, однако для каждого конкретного станка следует сопоставить затраты времени, чтобы сделать окончательный выбор того или иного варианта последовательности обработки.

На некоторых станках с малыми размерами стола (500×500 мм и менее) и расположением инструментов в магазине в порядке выполнения переходов (без кодирования номеров гнезда или инструментов) наиболее целесообразна работа по варианту 3. Чистовое растачивание соосных ступенчатых отверстий в одной стенке или близлежащих стенках детали следует выполнять по варианту 1.

Все, что было изложено в § 2, 3, 4, 7 и 8 гл. X, § 5 гл. XI относительно обработки на сверлильных, расточных и фрезерных станках, справедливо для многооперационных станков, в равной

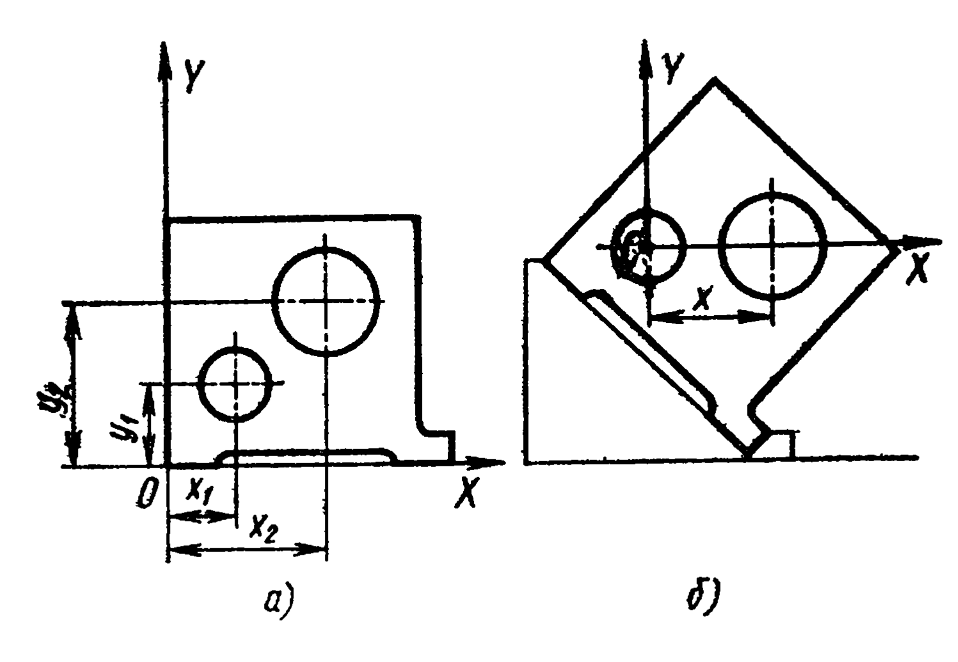


Рис. 121. Обычное (*а*) и специальное (*б*) расположение заготовки

мере рекомендации данного параграфа справедливы для перечисленных видов оборудования.

Обработке на МС присущи многие факторы, способствующие достижению высокой точности, такие как высокая точность самого станка, минимальное число установов, обработка многих поверхностей за один установ, исключение субъективных ошибок оператора. В то же время ограничена, особенно в старых системах ЧПУ, возможность по ходу выполнения процесса обработки вносить изменения, что повышает ответственность за качественное выполнение наладки и за состояние тех элементов системы СПИД, которые определяют точность обработки.

Точность обработки на станке достигается при выполнении ряда условий. Безусловно, все, что изложено по этому вопросу в гл. IV, справедливо и для многооперационных станков.

Обычно координатные оси отсчета размеров детали располагают параллельно координатным осям станка. Но если требуется выполнить особо точно какой-либо размер, например межосевое расстояние, деталь в отступление от общего правила можно расположить так, чтобы инструмент от оси одного отверстия к оси другого перемещался только по одному координатному направлению (рис. 121).

§ 5. НАСТРОЙКА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКОВ

Наладка на обработку МС принципиально не отличается от наладки других видов станков с ЧПУ и в основном описана в гл. I и § 7 гл. X. Напомним, что установочное приспособление следует точно выверить относительно направлений координатных перемещений, начала координат станка и оси поворота стола (для станков с поворотным столом).

Для отыскания величины смещения нуля по осям *X* и *Y* может быть предложен съемный настроечный кубик с мерным пазом на одной из сторон (рис. 122). За счет встроенных в поверхность корпуса *1* постоянных магнитов *2*, *3* и *4* кубик может довольно устойчиво прикрепляться к базирующим поверхностям приспособлений. Кубик для повышения износостойкости закален до высокой твердости. Назначение кубика: отсчитать размер *K* от плоскости, к которой он прикреплен. В шпиндель станка устанавливают оправку с закрепленным в ней рычажным индикатором *5*. Наконечник индикатора вводят в паз кубика, касаются

одной из боковых сторон паза, настраивают индикатор на ноль, поворачивают шпиндель на 180° и фиксируют показания индикатора при касании наконечником противоположной стороны паза. Смещая шпиндель относительно стола, добиваются положения, когда ось шпинделя совпадает с осью симметрии паза, это означает, что шпиндель по соответствующей координате отстоит от базирующей поверхности приспособления, к которой кубик прикреплен, на расстояние K (размер K отгравирован на кубике). Используя показания цифровой индикации, легко подсчитать расстояние от начала координат станка до базирующей поверхности приспособления по данному координатному направлению.

Инструменты настраивают на размер вне станка на оптических и индикаторных приборах. Настройку по оси Z (W) обычно заменяют отсчетом величины вылета вершины режущей кромки от торца шпинделя. Величину вылета или разность между величиной вылета и постоянной запрограммированной величиной набирают на декадных переключателях корректоров длины инструментов по оси Z (W).

Настройку резцов в расточных оправках с микрорегулировкой по оси, перпендикулярной оси Z, нужно вести по наладочному диаметру

$$D_{н} = D_{max} + \Delta_1 + \Delta_2 - \frac{\Delta_{рс}}{2} - \Delta_0,$$

где D_{max} — наибольший допустимый размер диаметра обрабатываемого отверстия; Δ_1 — поправка на упругие отжатия резца; Δ_2 — поправка на шероховатость поверхности; $\Delta_{рс}$ — поле рассеяния размеров, возникающее при переустановках оправки из магазина в шпиндель; Δ_0 — поле погрешности, возникающей из-за температурных деформаций резца.

В формуле учтено, что при настройке резца необходимо компенсировать увеличением размера величину отжатия и высоту микронеровностей, в то же время уменьшением вылета резца предотвратить выход размера отверстия за предел поля допуска

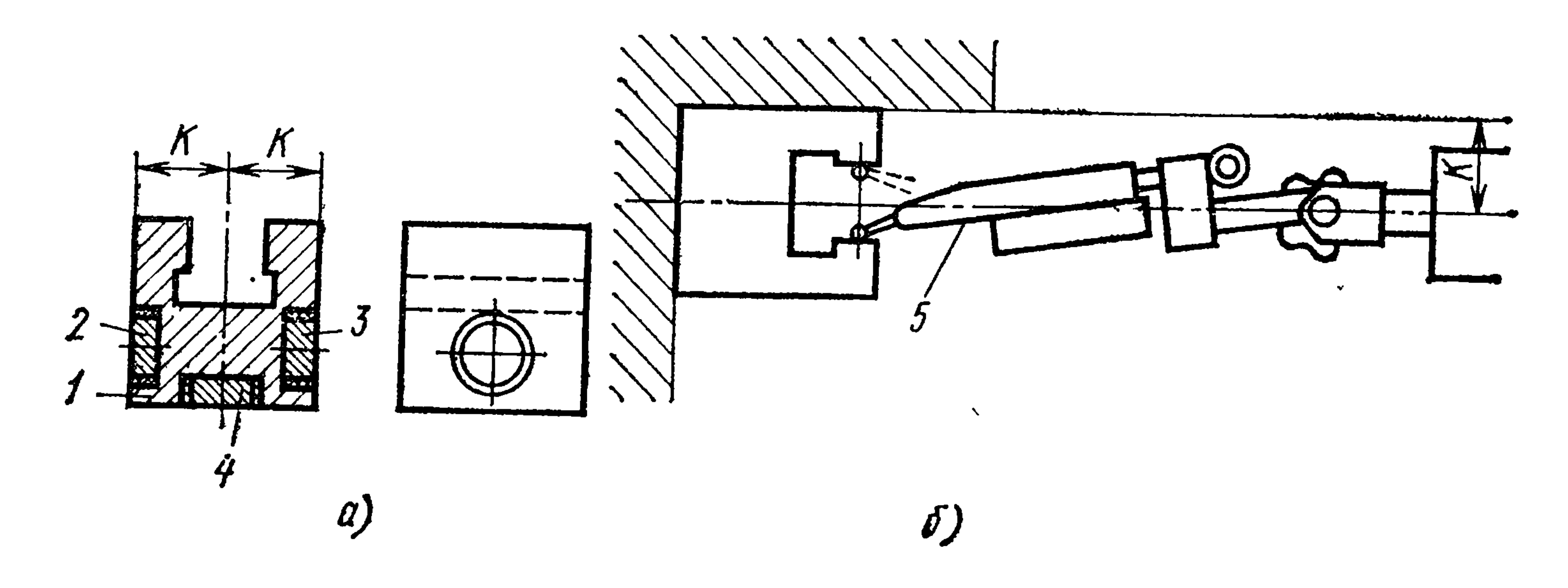


Рис. 122. Настройка станка по оси X или Y:
а — настроечный кубик; *б* — отсчет размера K

из-за нестабильности установки инструмента в шпиндель и из-за нагревания резца.

В связи с высоким коэффициентом использования в течение рабочих смен станок может обладать значительным тепловыделением и иметь заметные температурные деформации. Известно, что на операционных станках спустя некоторое время после начала смены происходит в связи со стабилизацией температуры стабилизация положения рабочих органов. Для МС не существует столь строгой зависимости, так как происходит непрерывная смена режимов, высокие скорости вращения шпинделя чередуются с медленным вращением. Зависимость температурных деформаций от времени приобретает характер сложной колебательной функции, в которой разогрев узлов и механизмов чередуется с их остыванием. Размах колебаний зависит от продолжительности отдельных инструментальных переходов и частот вращения шпинделя.

Характер температурных деформаций узлов необходимо учитывать при разработке управляющих программ. Не следует разбивать обработку взаимосвязанных поверхностей выполнением переходов на резко отличающихся режимах. В начале работы остывшего станка необходимо выделить 15—20 мин для его разогрева, а после поднастроить положение нуля программы.

После доставки к станку настроенных на размер инструментов и крепежного приспособления настройка станка выполняется по следующей схеме.

1. Установить приспособление на стол станка и выверить его относительно оси поворота и координатных осей.

2. Расставить настроенные на размер инструменты в соответствующие гнезда магазина (при кодировании гнезд) или в последовательности обработки, или произвольно (при кодировании инструмента).

3. Сверить фактические координаты вершин режущих кромок с запрограммированными, набрать на соответствующих декадных переключателях величины коррекций на длину инструментов.

4. Сверить фактические диаметры фрез с запрограммированными и набрать на соответствующих декадных переключателях величины коррекций радиуса, равные половине разности указанных диаметров.

5. Используя индикаторную оправку и мерный настроечный кубик, найти положение нуля программы, вернуть рабочие органы станка в ноль станка.

6. Набрать на декадных переключателях устройства ЧПУ величины смещений рабочих органов из нуля станка в ноль программы.

7. Установить в фотосчитывающее устройство перфоленту.

8. Выполнить обработку детали по схеме, предложенной в § 10 гл. 1.

§ 6. КОНСТРУКЦИЯ, РЕГУЛИРОВАНИЕ И НАЛАДКА СТАНКА ИР500МФ4

В качестве примера рассмотрим станок ИР500МФ4 (рис. 123). Станок имеет вертикально-подвижную шпиндельную бабку *3*, расположенную внутри подвижной стойки *4*, и поворотный стол *1*. На верхнем торце стойки расположен магазин *6* барабанного типа, а у бокового торца станины на отдельном основании *10* смонтирована поворотная (на 180°) платформа *9* для двух столов-спутников: *2* и *8*. Поворот магазина осуществляется от высокомоментного двигателя *7*. Номера гнезд магазина закодированы.

На переднем торце стойки установлен манипулятор *5* (автоматическая двухзахватная рука), осуществляющий смену инструментов. Манипулятор имеет механизмы вертикального перемещения, поворота руки на 180° и выдвижения руки. Вертикальное перемещение позволяет обходиться без смещения шпиндельной бабки далеко вверх в позицию смены. Захват инструментальных оправок выполняют губки, стянутые двумя цилиндрическими пружинами.

Поворот стола *1* на произвольно заданный угол (с дискретностью 5°) осуществляется от высокомоментного электродвигателя. Для фиксации верхней поворотной части стола встроена зубчатая торцовая муфта с прямыми зубьями. Рабочие подачи осуществляются по оси *Z* подачей стойки, по оси *Y* — подачей шпиндельной бабки, по оси *X'* — подачей стола. В качестве приводов подач (рис. 124), используют высокомоментные двигатели *1* и винтовые пары качения *9*. Двигатель *1* и винт *8* связаны между собой упру-

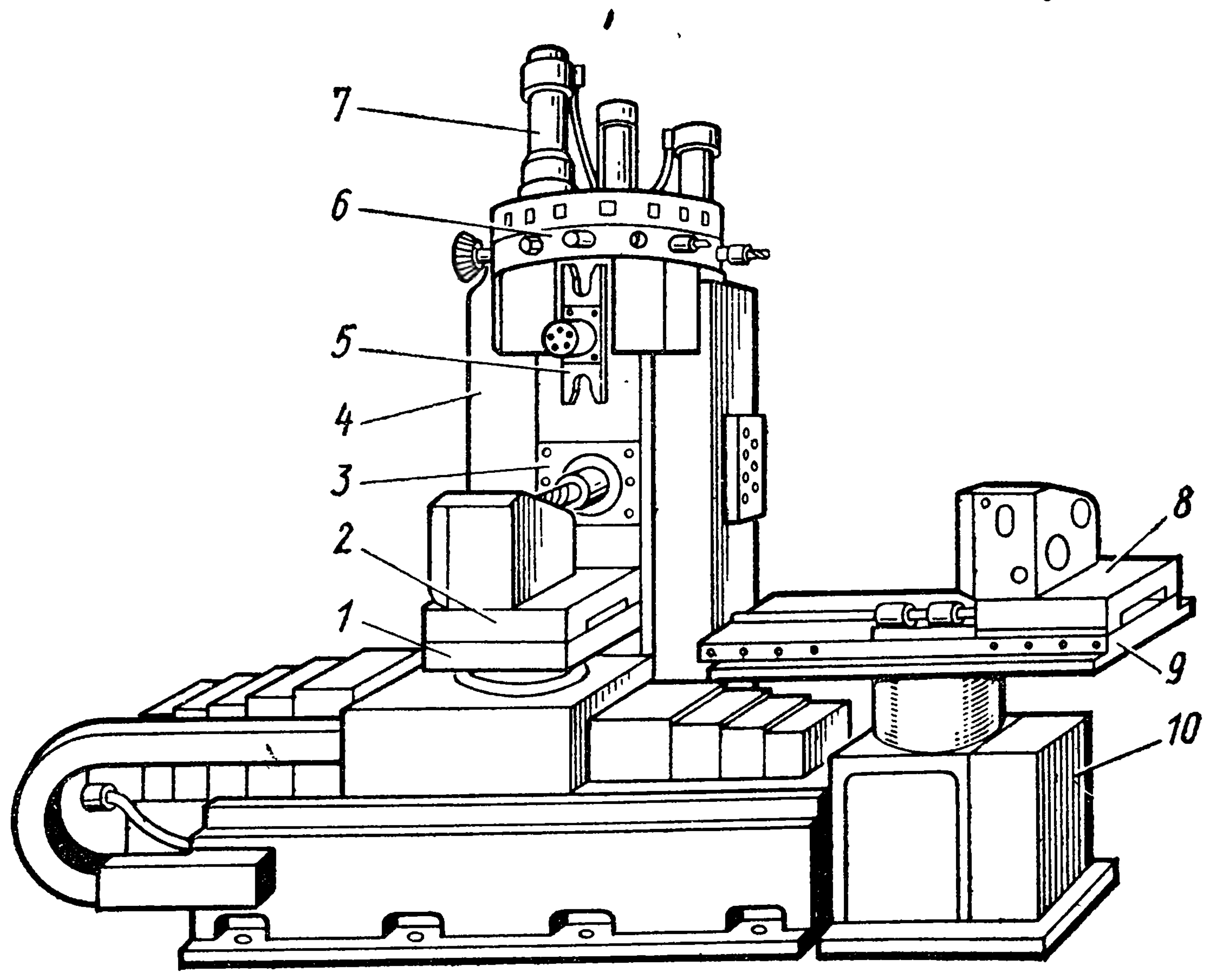


Рис. 123. Станок ИР500МФ4

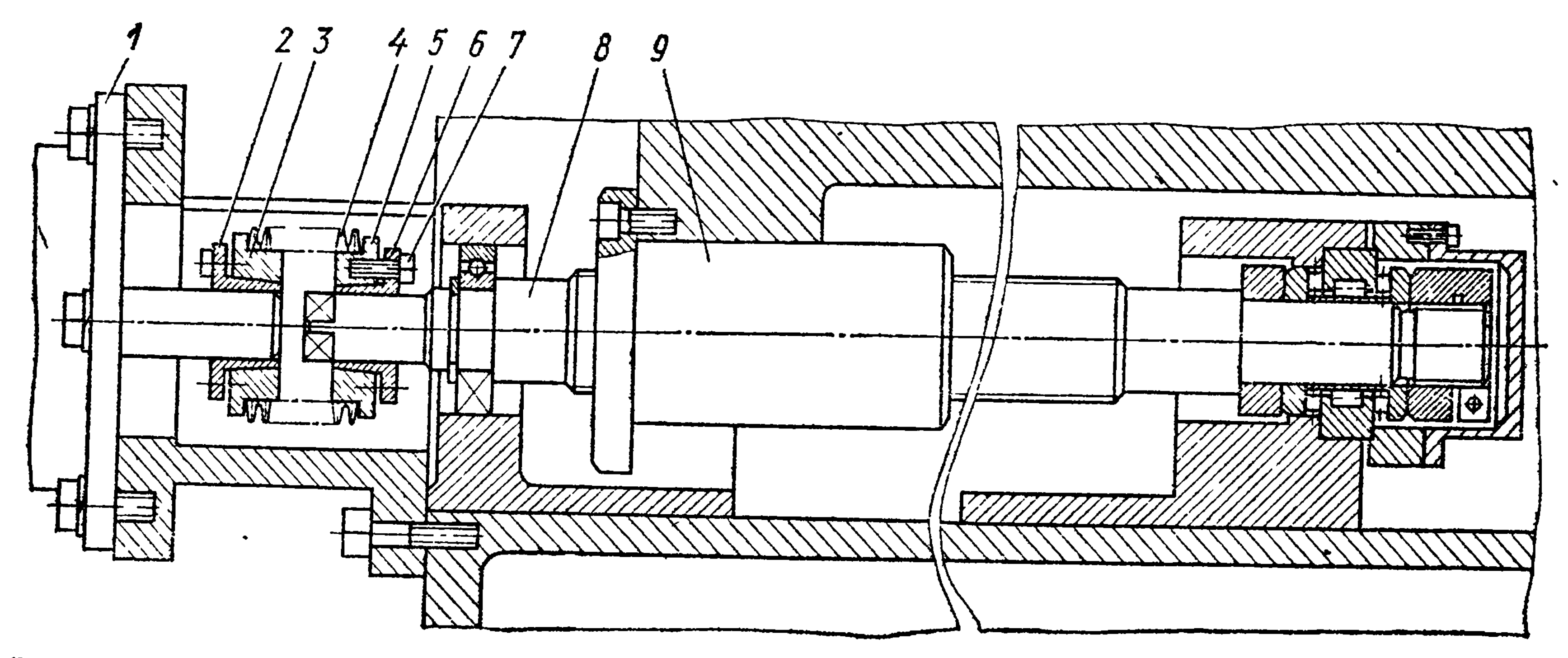


Рис. 124. Привод подач

гой сильфонной муфтой *4*, отрегулированной на передачу крутящего момента 235 Н·м путем натяжения торцовых частей муфт *3* и *5* на конические поверхности втулок *2* и *6*. Внутренние цилиндрические поверхности втулок при этом плотно обжимают концы вала электродвигателя и ходового винта. При монтаже муфты необходимо обратить внимание на то, чтобы в исходном положении упругие витки муфты были не сжаты и не растянуты. К головкам винтов *7* при навинчивании надо прикладывать момент 25 Н·м.

Станок обладает повышенными жесткостью и виброустойчивостью благодаря применению в передней опоре шпинделя *1* (рис. 125) комбинации из радиального двухрядного роликового подшипника *4* и упорно-радиального двухрядного шарикоподшипника *3*. Шпиндель со своими опорами (сзади установлен двухрядный роликовый подшипник *8*) смонтирован в жесткой гильзе *2*. Такая конструкция, сочетающая точность и жесткость, позволяет успешно выполнять на станке без угрозы потери точности как черновые, так и чистовые проходы, реализуя в полной мере идею интеграции обработки.

Однако положительные результаты могут быть достигнуты только при оптимальном регулировании шпиндельных опор.

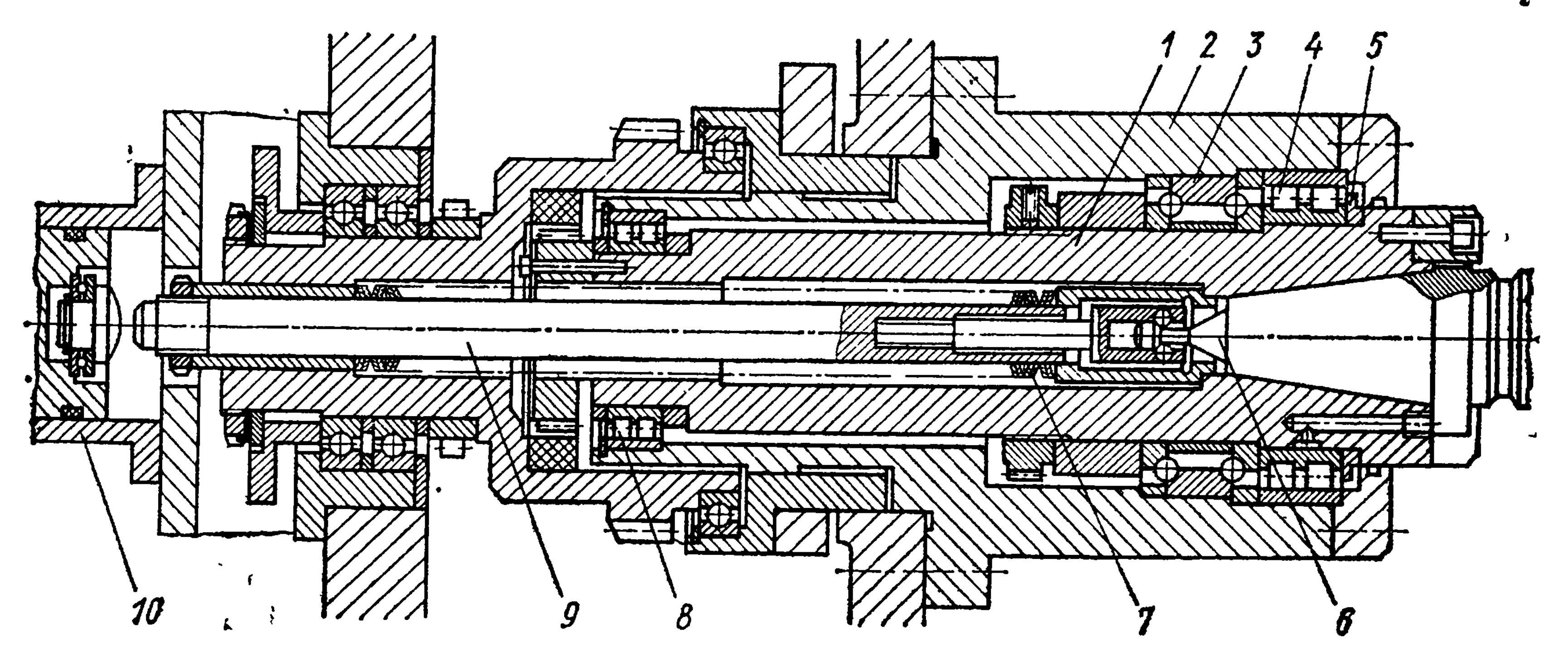


Рис. 125. Шпиндельный узел

Недостаточный натяг в подшипниках снижает показатели жесткости, а чрезмерный натяг приводит к снижению долговечности опоры и при работе на высоких частотах вращения — к перегреву и заклиниванию. Исходя из этого регулирование подшипников *3* и *4* нужно выполнить описанными ранее методами на натяг 2—3 мкм с помощью подгонки кольца *5*, а подшипника *8* — на зазор 3—5 мкм.

Для демонтажа подшипников *4* и *8* в шпинделе просверлены отверстия, через которые масло под давлением попадает в кольцевые канавки на конических шейках шпинделя под внутренними обоймами подшипников. Из соображений безопасности подачу масла лучше всего производить ручным насосом высокого давления.

Механизм зажима инструмента расположен внутри шпинделя. Зажим производится усилием пакета тарельчатых пружин *7* через тягу *9*, имеющую на переднем конце захваты для соединения с хвостовиком оправок (или штырем) *6*. Отжим производится гидравлическим цилиндром *10*.

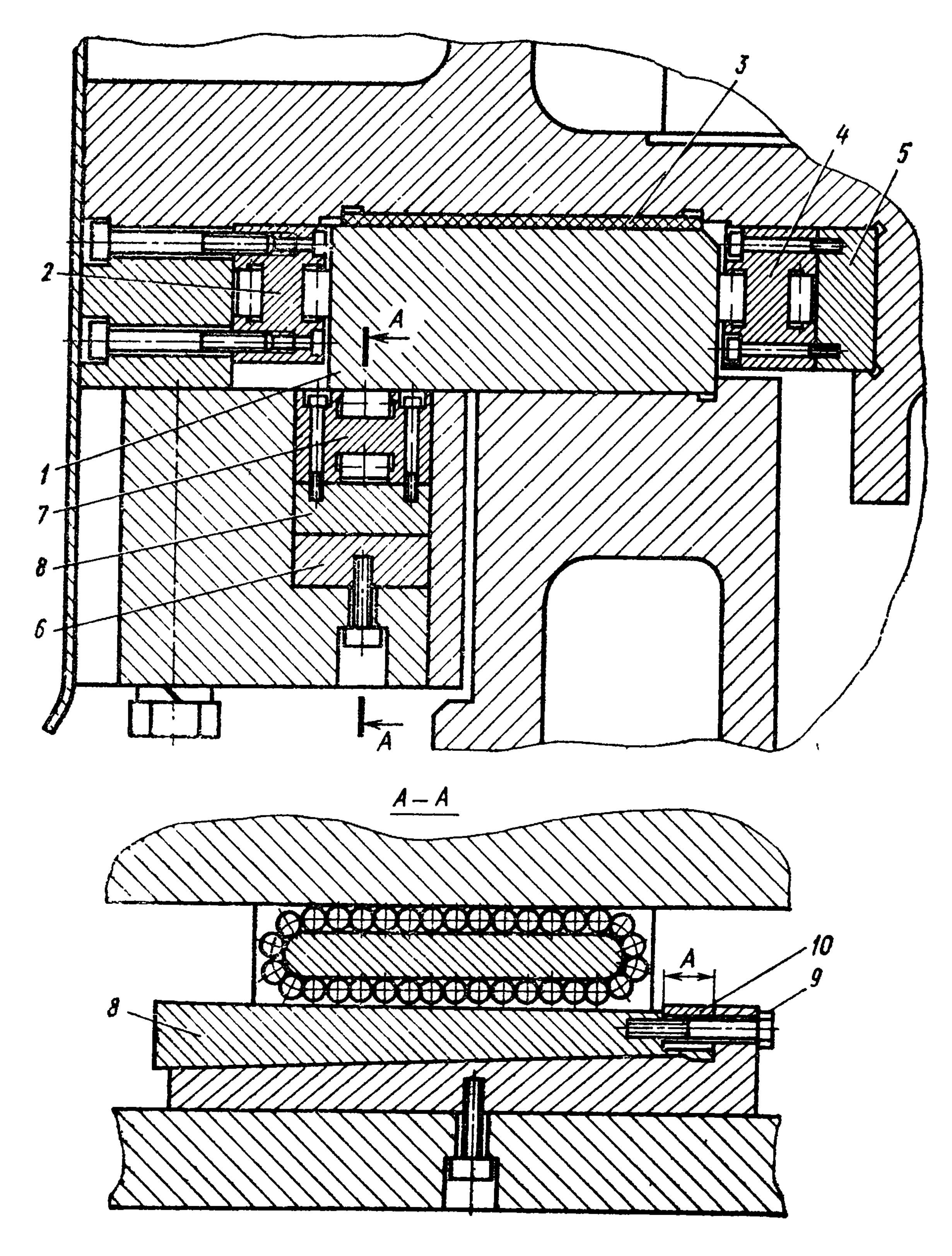


Рис. 126. Направляющие станка

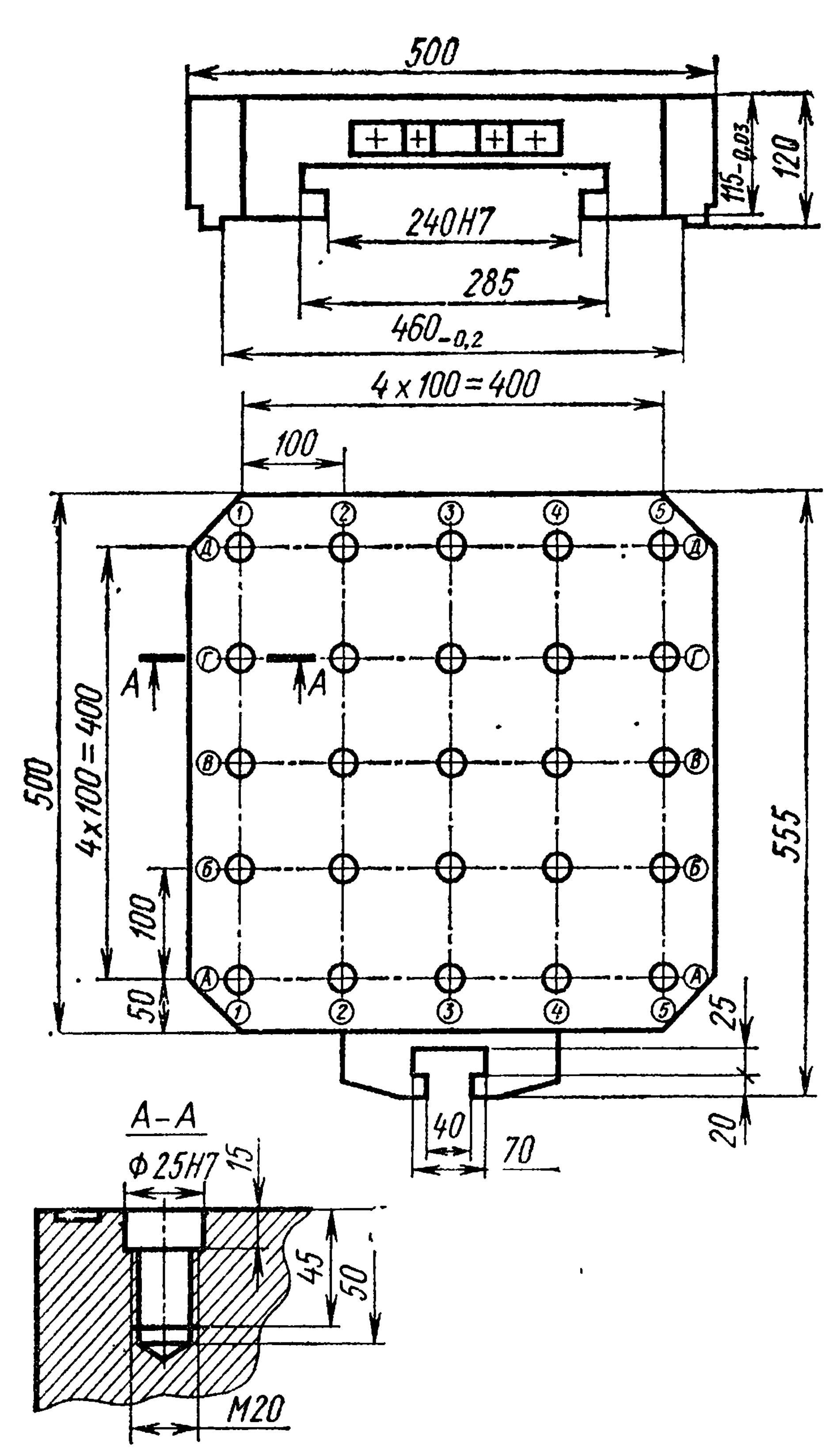


Рис. 127. Стол-спутник станка

Направляющие всех подвижных узлов имеют смешанное трение (рис. 126). По стальной закаленной до высокой твердости планке *1* перемещаются ролики направляющих качения *2*, *4*, *7* и направляющая скольжения *3*, изготовленная из наполненного фторопласта. Необходимый натяг 5—10 мкм в направляющих качения *2 — 4* создается подгонкой планок *5*, которую выполняют по размерам сопрягаемых элементов.

Выборку зазора в нижней направляющей качения *7* осуществляют с помощью клинового соединения *6—8*. Винтом *9* подтягивают подвижной клин *8* до момента касания роликами опоры качения направляющей *1*, измеряют набором концевых мер длины размер *A*, в этот размер шлифуют по торцам дистанционную втулку *10*.

Гидравлическая система станка осуществляет уравновешивание шпиндельной бабки с помощью специального цилиндра, переключение двух диапазонов частот вращения шпинделя, отжим инструментов в шпинделе, ориентацию шпинделя, работу механизмов манипулятора, отжим-зажим поворотного стола и столов-спутников, автоматическую смену столов-спутников, фиксацию инструментального магазина.

Время автоматизированной смены столов-спутников составляет 45 с. За это время из рабочей позиции станка стол-ступник с обработанной деталью смещается на свободную сторону загрузочной позиции, производится поворот на 180° платформы загрузочной позиции, стол-спутник с заготовкой смещается в рабочую позицию станка и там закрепляется. Работа ведется с помощью двух столов-спутников (рис. 127), имеющих с нижней стороны направляющие для перемещения и точного базирования в рабочей позиции. На верхней рабочей поверхности столы-спутники имеют сетку отверстий, в верхней части точных, а в нижней — резьбовых.

Смазочная система станка состоит из трех самостоятельных систем: циркуляционной смазочной системы подшипников и зубчатых колес шпиндельной бабки; автоматической централизованной дозированной смазочной системы направляющих рабочих органов, опор шпинделя, шариковых винтовых пар и механизмов смены инструментов; периодическое смазывание вручную консистентной смазкой роликовых подшипников приводов подачи рабочих органов и механизма смены столов-спутников.

Станок ИР500МФ4 с устройством ЧПУ «Fanuc 3000C» (Япония) имеет диагностику неисправностей различных механических, гидравлических, электрических и электронных систем станка. Специальные датчики и элементы схем следят за состоянием станка и передают сведения в устройство ЧПУ. Периодически через определенное время, а также при возникновении любой неисправности следует поочередно вызвать на пульте устройства ЧПУ каждый из 10 адресов диагностики. На табло цифровой индикации устройства ЧПУ загорается сочетание цифр 0 и 1. В руководстве по эксплуатации станка приведены в виде таблиц правильные комбинации этих цифр по всем 10 адресам диагностики, а также ключ к отысканию мест и причин неисправностей при неверном сочетании цифр 0 и 1. Наличие такого устройства многократно ускоряет выявление причин отказов и сбоев, а также позволяет более квалифицированно вести техническое обслуживание станка.

Основные неисправности станка ИР500МФ4 сводятся к выходу из строя уплотнений в гидравлических цилиндрах механизмов поворота стола, смены столов-спутников и перемещения механизмов манипулятора смены инструмента. При ремонте необходимо заменить вышедшие из строя резиновые кольца и манжеты.

Глава XIII

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Шлифовальные станки с ЧПУ пока не нашли достаточного распространения. Это связано со многими трудностями, возникшими при создании такого типа оборудования. Одним режущим инструментом, а им является абразивный круг, практически невозможно обработать многообразные поверхности заготовки. Пока не найдено удачных конструктивных решений автоматической смены шлифовальных кругов. Этому препятствуют как соображения техники безопасности, так и трудности в перестройке механизма правки для разных профилей кругов.

Наиболее распространенными являются круглошлифовальные, внутришлифовальные и плоскошлифовальные станки широ-

кого назначения. В то же время шлифованию подвергают наружные и внутренние поверхности сложной формы с прямолинейной образующей. Такие поверхности имеют детали вырубных штампов и пресс-форм, шаблоны, статоры насосов и др. До последнего времени их обрабатывали на малопроизводительных профилешлифовальных и координатно-шлифовальных станках после трудоемкой технологической настройки оборудования.

Оснащение программным управлением станков для обработки криволинейных поверхностей с прямолинейной образующей позволяет резко повысить производительность труда. В настоящее время для таких работ выпускают две группы станков с ЧПУ: со шпинделем, ось которого перпендикулярна рабочей поверхности стола (контурно-шлифовальные), и со шпинделем, ось которого параллельна рабочей поверхности стола (профилешлифовальные).

Типичным представителем станков первой группы является контурно-шлифовальный станок с ЧПУ мод. МА396Ф3, по компоновке напоминающий координатно-расточной или бесконсольный фрезерный станок с вертикальным шпинделем.

Основное назначение станка — шлифование открытых и закрытых поверхностей с прямолинейной образующей, параллельной оси шпинделя станка. В режиме врезного шлифования возможна обработка поверхностей с непрямолинейной образующей. Для этого необходимо соответствующим образом заправить фасонный шлифовальный круг. При обработке отверстий шпиндель с абразивным кругом вместе с рабочим совершает еще и планетарное движение.

Приводы подач координатных перемещений стола и салазок (X' и Y') — шаговые электродвигатели с гидроусилителями, дискретность перемещений 0,001 мм. Станок имеет третью управляемую координату U: перемещение пиноли прибора алмазной правки круга. Привод пиноли осуществляется непосредственно от шагового двигателя, дискретность перемещения 0,002 мм. На станке предусмотрена автоматическая компенсация износа круга за счет команд от устройства ЧПУ.

Малая дискретность отсчета, автоматическая выборка зазоров и компенсация накопленных погрешностей ходовых винтов и зоны нечувствительности, а также исполнение станка по классу В обеспечивают достижение качества обработки, которое характеризуется следующими показателями: точность размеров — 0,02 мм; повторяемость размеров — 0,002 мм; неперпендикулярность образующей к базовому торцу — 0,008 мм на длине 80 мм; непрямолинейность образующей 0,002 мм; шероховатость обработанной поверхности детали из стали $Ra = 0{,}02 \div 0{,}08$ мкм, из чугуна и алюминия $Ra = 0{,}2 \div 0{,}25$ мкм, из хрома $Ra = 0{,}125 \div 0{,}16$ мкм.

Технические характеристики станка МА396Ф3

Размеры стола, мм:	
ширина	500
длина	1000

Наибольшие размеры обрабатываемой детали, мм:	
длина	800
ширина	500
высота	150
Наибольший ход стола, мм:	
по оси X'	1000
по оси Y'	500
Диаметр шлифовального круга, мм	20—150
Скорость вертикальных перемещений шлифовальной бабки, м/мин	0,7
Мощность двигателя шлифовального шпинделя (двухскоростного), кВт	4,7/7,5
Устройство ЧПУ	Н55-1М
Габаритные размеры станка (с электрошкафами, гидростанцией и баком для СОЖ), мм:	
длина	4700
ширина	3000
высота	3180
Масса станка, кг	9000

Круглошлифовальные станки с ЧПУ (табл. 52) предназначены для последовательного шлифования по программе ступеней валов цилиндрическим кругом. На станках можно шлифовать гладкие

52. Технические характеристики круглошлифовальных станков с ЧПУ

Характеристика	3М151Ф2	3М163Ф2Н1В
Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	200	280
Наибольшая длина устанавливаемой детали, мм	700	1250
Высота центров над столом, мм	125	160
Наибольшая масса устанавливаемого изделия, кг	55	100
Наибольший диаметр шлифовального круга, мм	600	750
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1590	890
Скорость быстрого подвода и отвода шлифовальной бабки, мм/мин	1700/930	960
Угол поворота верхнего стола:		
по часовой стрелке	0° 30′	5° 42′ 38″
против часовой стрелки	4°	5° 42′ 38″
Скорость перемещения стола от гидропривода, м/мин:		
наименьшая	0,05	0,05
наибольшая	5	5
Частота вращения детали (регулируется бесступенчато), об/мин:		
наименьшая	50	30
наибольшая	500	400
Горизонтальное перемещение центра задней бабки для компенсации конусности, мм	±0,05	±0,05
Мощность двигателя главного движения, кВт	10,0	10,0
Габаритные размеры станка с учетом приставного оборудования, мм:		
длина	4950	5900
ширина	2400	2950
высота	2170	2200
Масса станка, кг	6500	9500

и прерывистые цилиндрические поверхности, подшлифовывать торцы тем же кругом, заправленным по торцу под углом 5—10°, на некоторых станках за счет поворота верхнего стола имеется возможность шлифовать конические поверхности конусностью 1 : 5.

В круглошлифовальных станках использовано специализированное устройство ЧПУ для шлифовальных станков с заданием размеров в абсолютных значениях и набором программы на кнопочных и декадных переключателях пульта управления.

Число программируемых координатных осей — две, одновременно работа выполняется только по одной оси. В устройстве заложены 13 стандартных циклов, например шлифование ступенчатых поверхностей; шлифование врезное с поперечной подачей по оси X; шлифование в несколько проходов с зачисткой; шлифование торцов и т. д. Дискретность задания перемещения по оси X равна 0,001 мм, по оси Z — 0,1 мм.

Устройство имеет пять видов коррекций: диаметральных размеров при измерении прибором активного контроля; положения левой кромки круга; положения правой кромки круга; осевого сдвига изделия; координаты X. Устройство цифровой индикации показывает положение рабочих органов и сигнализирует о выполнении технологических команд.

§ 2. СТАНОК 3М163Ф2Н1В

Станок данной модели изготовлен на базе круглошлифовального полуавтомата 3М151Ф2. В связи с этим отметим только отличительные особенности станка 3М163Ф2Н1В.

Рабочие органы станка имеют следующие движения: вращение шпинделя шлифовального круга; осевое перемещение шпинделя шлифовального круга; вращение детали; поперечную подачу от кнопок в наладочном режиме; ввод прибора осевой ориентации; ускоренное перемещение шлифовальной бабки; ручное и гидравлическое перемещение стола; ручную и автоматическую поперечную подачу алмаза прибора правки и гидравлическую продольную подачу алмаза; ручной и гидравлический отвод пиноли задней бабки; поворот пиноли задней бабки; ввод измерительной скобы; поворот и зажим верхнего стола; перемещение следящего упора.

На продольных направляющих станины установлен нижний стол, который, в свою очередь, несет на себе верхний поворотный стол. Поворот верхнего стола до настроенных упоров для шлифования конических поверхностей и зажим его механизированы. Шпиндель *9* (рис. 128) шлифовальной бабки установлен в двух гидродинамических подшипниках скольжения специальной конструкции. Подшипники имеют по три одинаковых самоустанавливающихся сегментных вкладыша *8*, опирающихся сферическими лунками на винты *3*. Профиль рабочих поверхностей вкладышей

обеспечивает возникновение масляного клина при вращении шпинделя и предотвращение износа и нагрева.

Шпиндель фиксируется в осевом направлении с помощью гидростатического подшипника, в котором размещены две втулки *4*, имеющие с шейками шпинделя диаметральный зазор 0,05—0,07 мм и по торцу буртика 0,04—0,05 мм. Масло из гидросистемы под давлением 1,5 МПа подается в зазор подшипника, устанавливая его по отношению к шпинделю с равномерным зазором по диаметру и торцам буртика. Через гидростатический подшипник осуществляется передача движения шпинделю вдоль оси для подшлифовки торцов детали. От отдельного цилиндра (на рис. 128 не показан), поршня-рейки и вала-шестерни *7* движение передается на посаженный с эксцентриситетом шариковый подшипник, далее на коромысло *6*, которое, поворачиваясь вокруг оси *5*, перемещает гидростатический подшипник в осевом направлении вместе со шпинделем. Шлифовальный круг *2* установлен на фланец *1*.

Быстрый подвод и рабочие перемещения шлифовальной бабки выполняются с помощью винтовой пары качения и червячной передачи от силового шагового двигателя ЕС-5 мощностью 1,5 кВт. Шпиндель передней бабки вращения не имеет, деталь получает вращение от поводка, закрепленного на планшайбе. Планшайба приводится во вращение электродвигателем через две ступени передач поликлиновыми ремнями.

Задняя бабка имеет ручной и гидравлический отвод пиноли, осуществляемый по направляющим качения, кроме того, пиноль может поворачиваться вокруг своей оси. Этот поворот используется для устранения конусности при шлифовании. Отверстие под центр расточено с эксцентриситетом $e = 0{,}6$ мм относительно оси наружной поверхности пиноли. После пробного шлифования и контроля двух крайних шеек детали в зависимости от конус-

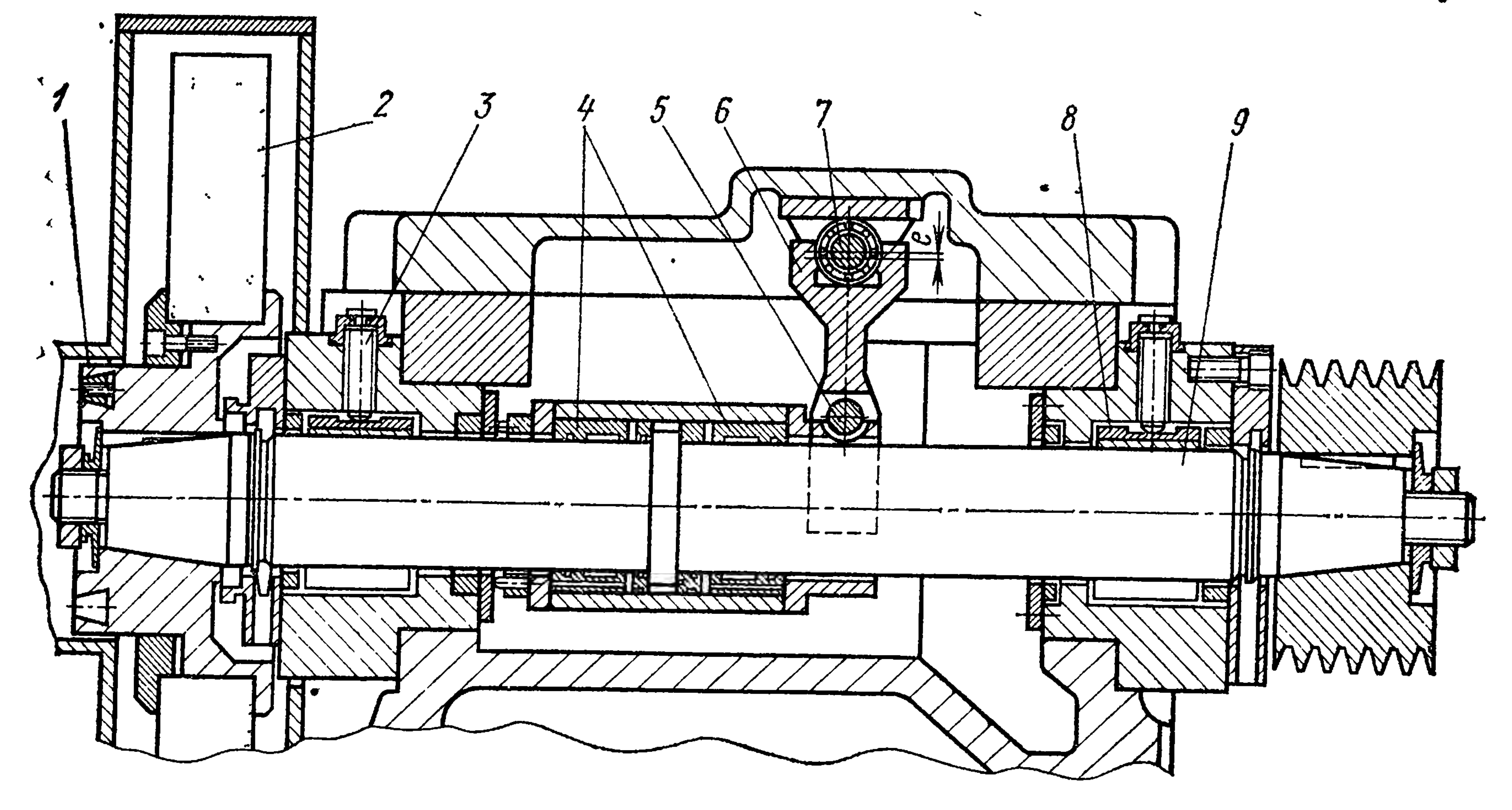


Рис. 128. Шпиндельный узел

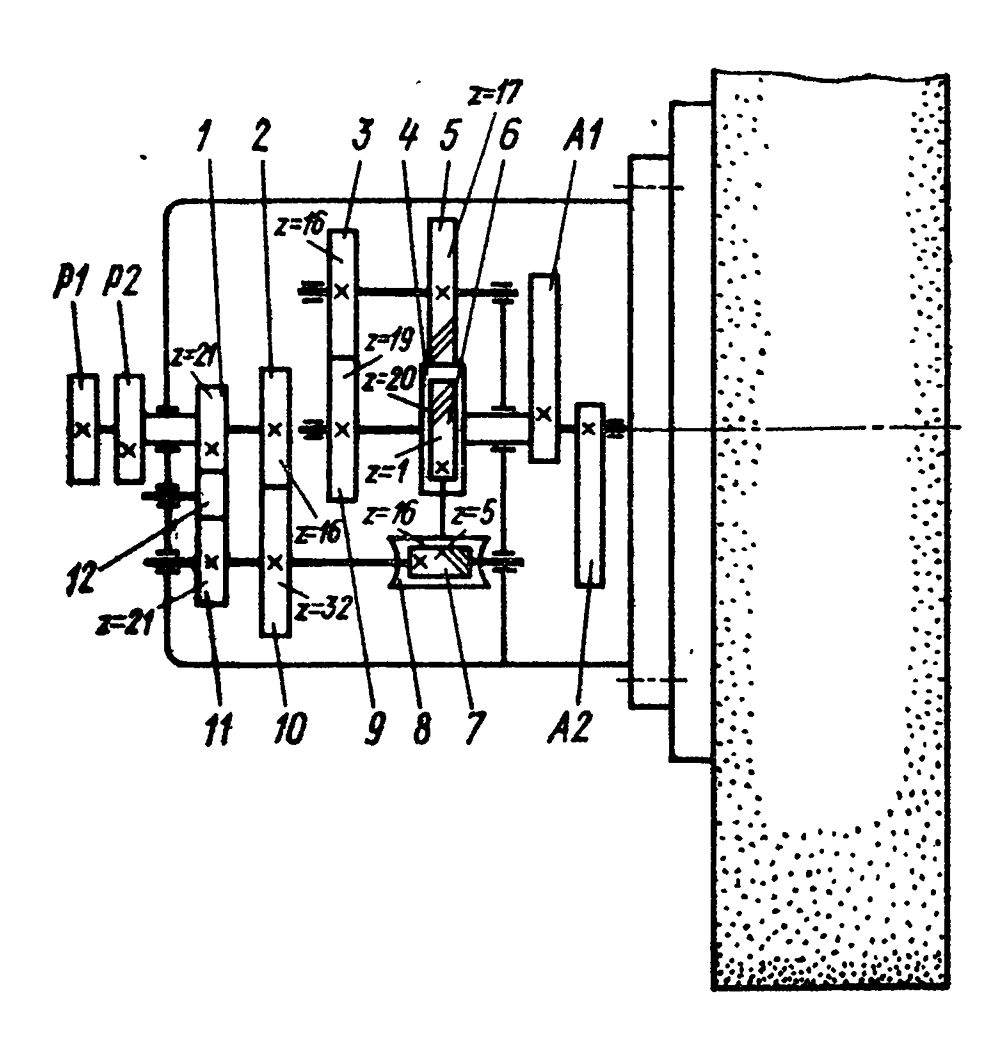


Рис. 129. Механизм балансировки шлифовальных кругов на ходу

ности следует включить электродвигатель поворота пиноли. Деталь в центрах зажимается пружинами, встроенными в пиноль.

Со станком поставляют три прибора алмазной правки шлифовального круга: автоматической правки по периферии, правки по торцу и периферии, правки нового круга с креплением прибора на столе станка. Станок снабжен механизмом балансировки шлифовального круга на ходу. Механизм крепят к фланцу шлифовального круга после установки круга на шпиндель станка.

Работа механизма (рис. 129) основана на том, что два корректирующих элемента *А1* и *А2* поворачиваются относительно вращающегося круга при остановке одной из рукояток *Р1* или *Р2*, вынесенных на торец механизма. Балансировка достигается при расположении корректирующих элементов на более легкой половине шлифовального круга под равными углами к линии «тяжелая часть круга — ось круга». Если захватить рукой рукоятку *Р1*, то останавливается зубчатое колесо *2*. Так как шлифовальный круг и весь механизм вращаются, то колесо *10* начинает обкатываться вокруг неподвижного колеса *2*, приводя во вращение червяк *7*, червячное колесо *8*, червяк *6*, червячное колесо *4* и корректирующий элемент *А1*. Одновременно вращение колеса *4* передается по цепи *5*, *3*, *9* элементу *А2*, который вращается в ту же сторону, что и элемент *А1*, но несколько медленнее. Если придержать рукоятку *Р2*, то элементы начнут вращаться в противоположном направлении, так как вступит в работу цепь *1*, *12*, *11*, имеющая по сравнению с цепью *2*, *10* на одно колесо больше.

Для наблюдения за уровнем вибраций в ходе балансировки можно использовать небольшое зеркало, закрепленное на стойке вблизи передней опоры шпинделя. При уменьшении вибраций наблюдаемая в зеркале картина из «размытой» становится четкой. Захватывая попеременно рукоятки *Р1* и *Р2*, можно добиться минимальных вибраций.

Механизм рассчитан на исправление неуравновешенности, которая возникает при износе круга и не исключает необходимости балансировки кругов вне станка с помощью грузов, размещенных в кольцевом пазу фланца.

§ 3. НАСТРОЙКА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА 3М163Ф2Н1В

Шлифовальный круг должен свободно надеваться на центрирующий выступ фланца. Между буртиками фланца и шлифовальным кругом надо обязательно устанавливать картонные прокладки толщиной 0,5—1 мм, диаметр которых должен быть несколько больше диаметра фланца. Фланец должен зажимать круг равномерно и надежно. Фланец с кругом ставят и снимают со шпинделя, отвернув гайку с левой резьбой с помощью специальной серьги, поставляемой со станком.

Своевременная и качественная правка шлифовального круга существенно влияет на производительность, точность и шероховатость шлифования. Правку рекомендуется выполнять алмазными карандашами Ц5, С3, С5. Подача алмаза на круг не должна превышать 0,01—0,03 мм/дв. ход. Величина продольной подачи при правке кругов существенным образом влияет на шероховатость обрабатываемой поверхности (табл. 53).

При работе в автоматическом режиме наладчик может судить о полученном результате лишь в конце цикла, контролируя готовую деталь. Поэтому от предварительной тщательной настройки станка, его механизмов и системы контроля зависит конечный результат.

Для подготовки станка к шлифованию необходимо:

установить стол в нулевое положение, переместить заднюю бабку в положение, соответствующее длине закрепляемой детали;

установить блокировочные упоры на столе станка;

с помощью передвижного упора, закрепленного сзади шлифовальной бабки, установить величину отвода шлифовальной бабки назад;

установить регуляторами требуемые скорости чернового и чистового шлифования;

включить кнопкой питание пульта устройства ЧПУ;

с помощью декадных переключателей и кнопок на пульте набрать управляющую программу, задав диаметры и координаты длин ступеней обрабатываемой детали, необходимые стандартные циклы, величины черновой, чистовой и доводочной подачи, время выхаживания;

53. Зависимость между режимами правки и результатами обработки

Продольная подача при правке, мм/мин	Шероховатость поверхности Ra обработанной детали из стали, мкм		Продольная подача при правке, мм/мин	Шероховатость поверхности Ra обработанной детали из стали, мкм	
	закаленной	незакаленной		закаленной	незакаленной
200—380	1,25	2,5	75—120	0,32	0,63
120—190	0,63	1,25	40—65	0,16	0,32

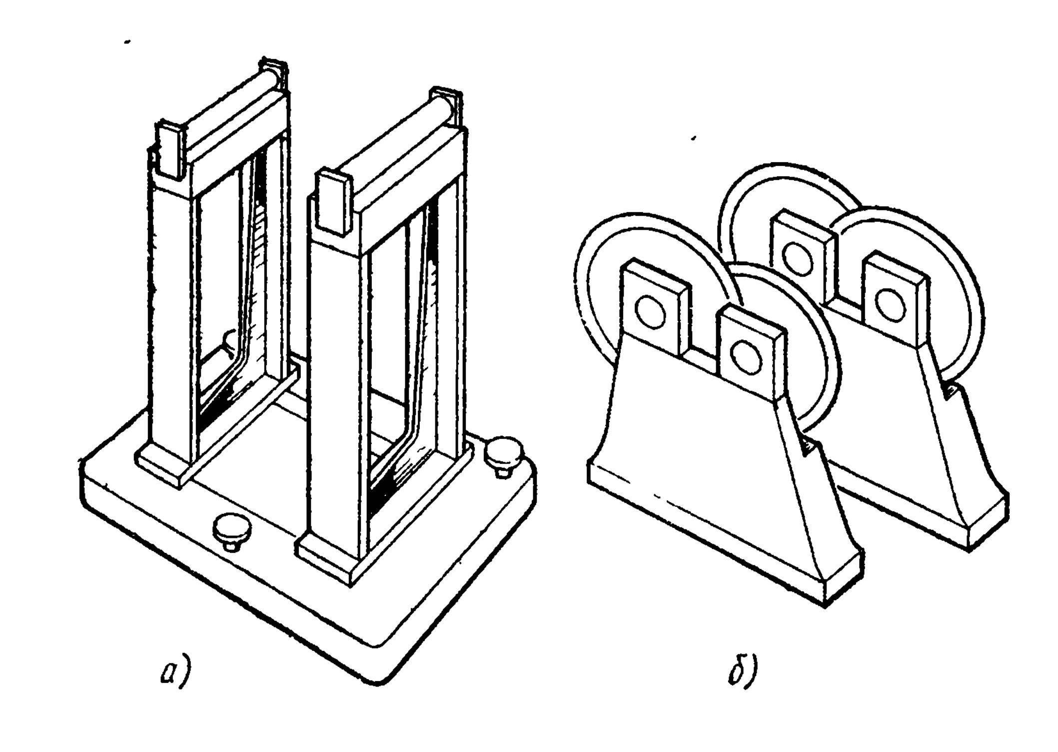


Рис. 130. Устройства для статической балансировки кругов

последовательным поворотом переключателя ступеней убедиться по цифровой индикации в правильности координат, набранных на переключателях ввода программы; по сигналам лампочек убедиться в правильности набранных циклов;

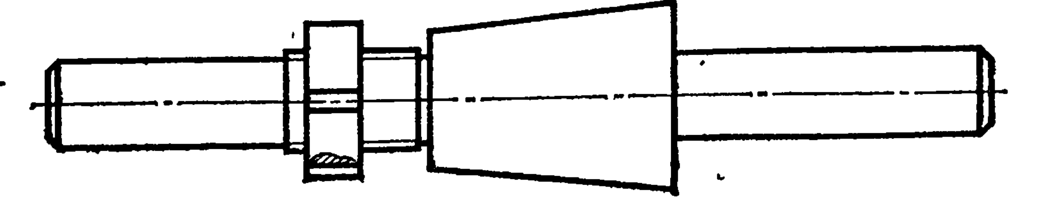
нажав кнопку «Автомат», отработать автоматический цикл; прогреть станок на холостом ходу в течение 30 мин; установить деталь в центрах и обработать деталь.

При работе на шлифовальных станках с ЧПУ наряду с правилами техники безопасности, относящимися к металлорежущим станкам, в том числе шлифовальным, необходимо соблюдать правила эксплуатации абразивного инструмента. Перед пуском станка следует проверить правильность работы блокировочных устройств, надежность крепления бабок, упоров на нижнем столе и станине, детали и хомутика, шлифовального круга и кожуха его ограждения. Работать без кожуха или при открытой крышке кожуха категорически запрещается.

Перед установкой на станок шлифовальный круг необходимо тщательно осмотреть и для проверки отсутствия трещин простучать в подвешенном состоянии деревянным молоточком массой 200—300 г. Круг без трещин издает чистый звук. Затем на специальном стенде круг испытывают на механическую прочность со скоростью, в 1,5 раза превышающей рабочую.

Испытанный круг в сборе с фланцами равных диаметров балансируют статически с помощью трех сухарей, размещенных в кольцевом пазу фланца. Для статической балансировки применяют специальные устройства (рис. 130). В устройстве, показанном на рис. 130, *а*, имеются два горизонтальных параллельных валика. Балансируемый круг помещают на специальную оправку (рис. 131) и прокатывают по валикам. Под действием силы тяжести круг остановится, когда тяжелая часть круга займет нижнее положение. В этом положении сверху на периферии круга нужно мелом сделать отметку. Сухари в пазу фланца размещают так, чтобы один из них (средний) занял место под отметкой, а два других (крайние) примерно на равном расстоянии от среднего. По-

Рис. 131. Балансировочная оправка



ворачивая круг на валиках на угол 70—90° в обе стороны и перемещая крайние сухари относительно среднего, добиваются, чтобы круг оставался неподвижным. Это свидетельствует о том, что круг отбалансирован.

Другой тип балансировочного устройства, с вращающимися дисками, представлен на рис. 130, *б*. При эксплуатации необходимо следить, чтобы рабочие поверхности балансировочного устройства, фланца и оправки были чистыми, не имели вмятин, царапин, забоин, заусенцев и следов коррозии.

После установки на станок круг должен быть подвергнут вращению вхолостую на рабочей скорости в течение 5 мин и отбалансирован на станке с помощью механизма балансировки, который крепят винтами к фланцу круга. Затем выполняют правку круга алмазом с помощью одного из механизмов правки.

При обнаружении несбалансированности после первой правки должны быть произведены повторные балансировки и правки. Если круг не удается отбалансировать, то его следует заменить другим. Запрещается править круг без охлаждения и работать неотбалансированным шлифовальным кругом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисов Е. И.** Обработка корпусных деталей на многооперационных станках с программным управлением. М.: Машиностроение, 1976. 64 с.

2. **Воробьев И. И.** Ременные передачи. М.: Машиностроение, 1979. 168 с.

3. **Гальперин Б. Я., Магиденко С. Б.** Выбор усилия затяжки револьверной головки. — Станки и инструмент, 1973, № 11, с. 6—7.

4. **Гальперин Б. Я., Магиденко С. Б.** Выбор конструктивных параметров зубчатых венцов, используемых для фиксации револьверных головок. — Станки и инструмент, 1978, № 4, с. 11—12.

5. **Демин А. И.** Расчет и проектирование торцовых муфт с круговыми зубьями. — Станки и инструмент, 1978, № 1, с. 22—25.

6. **Детали** и механизмы металлорежущих станков/Под ред. д-ра техн. наук проф. Д. Н. Решетова. М.: Машиностроение, т. 1, 1972, 664 с; т 2, 1972, 520 с.

7. **Каменецкий Г. И., Свешников В. К.** Специальные узлы гидропривода для станков с ЧПУ. М.: ЭНИМС, 1979. 44 с.

8. **Клягин В. И.** Организация технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков с ЧПУ. — Станки и инструмент, 1976, № 10, с. 7—11.

9. **Лапидус А. С., Портман В. Т., Мегаворян Л. Г.** Оценка надежности станков с ЧПУ в эксплуатации. — Станки и инструмент, 1978, № 10, с. 8—9.

10. **Левина З. М., Котляренко Л. Б., Бойм А. Г.** Расчет и конструирование направляющих качения с роликовыми опорами. М.: ЭНИМС, 1974. 34 с.

11. **Маталин А. А., Френкель Б. И., Панов Ф. С.** Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. 240 с.

12. **Наладка** станков с программным управлением/А. Н. Ковшов, В. А. Ратмиров, И. А. Вульфсон и др. М.: Высшая школа, 1976. 280 с.

13. **Сборно-разборные** приспособления для обработки заготовок на станках с числовым программным управлением (методические рекомендации по применению МГКТБ). М.: НИИМАШ, 1978. 44 с.

14. **Типовые** проекты организации рабочих мест станочников на станках с программным управлением. Оргстанкинпром. М.: НИИМАШ, 1974. 55 с.

15. **Флидлидер Г. М., Аверьянова Т. А.** Электромагнитные муфты серии ЭТМ с магнитопроводящими дисками. Руководящие материалы. М.: ЭНИМС, 1971. 27 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел 3. Наладка, эксплуатация и регулировка станков с программным управлением

ИБ № 1890

Ремир Борисович Марголит

НАЛАДКА СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Редактор *Н. П. Гурвич*
Художественный редактор *И. К. Капралова*
Технический редактор *В. И. Орешкина*
Корректоры *О. Е. Мишина и А. М. Усачева*
Оформление художника *О. О. Камаева*

Сдано в набор 16.06.82. Подписано в печать 11.02.83. Т-04040. Формат $60 \times 90^{1}/_{16}$.
Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ л. 16,0. Уч.-изд. л. 17,67. Тираж 32 000 экз. Заказ 182. Цена 85 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва Б-76, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

«ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ»

НОВЫЕ КНИГИ

по станкостроению и инструментальному производству

Выпуск 1983 года

Власов В. Ф. **Повышение эффективности инструментального производства в машиностроении.** 17 л., ил. В пер.: 1 р.

Власов С. Н., Годович Г. М., Черпаков Б. И. **Устройство, наладка и эксплуатация металлообрабатывающих станков и автоматических линий:** Учебник для техникумов. 30 л., ил. В пер.: 1 р. 10 к.

В помощь конструктору-станкостроителю/В. И. Калинин, В. Н. Никифоров, Н. Я. Аникеев и др. 20 л., ил. В пер.: 1 р. 40 к.

Дьячков В. Б., Кабатов Н. Ф., Носинов М. У. **Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения:** Справочник. 27 л., ил. В пер.: 1 р. 80 к.

Евгеньев Г. Б. **Основы программирования обработки на станках с ЧПУ.** 22 л., ил. В пер.: 1 р. 50 к. (По подписке).

Корсаков В. С. **Основы конструирования приспособлений:** Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. 18 л., ил. В пер.: 95 к.

Кузнецов В. Г. **Приводы станков с программным управлением:** Учеб. пособие для техникумов. 17 л., ил. В пер.: 70 к.

Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н. **Оснастка для станков с ЧПУ:** Справочник. 30 л., ил. В пер.: 2 р.

Микроэлектронные устройства в системах управления/С. Г. Синичкин, Н. И. Стародуб, Е. А. Чернов и др. 12 л., ил. (Электроавтоматика станков). 65 к.

Олеров И. М. **Допуски на изготовление и износ деталей станочных приспособлений:** Справочник. 2-е изд., перераб. 5 л., ил. 30 к.

Поляков Д. И., Костин А. И. **Развитие автоматизации в станкостроении.** 25 л., ил. (Б-ка технолога). В пер.: 1 р. 70 к.

Пружинно-гидравлическая зажимная оснастка для металлорежущих станков/Н. С. Чикирев, И. Я. Шамилевич, Л. Е. Немировский и др. 15 л., ил. В пер.: 80 к.

Плужников А. И. **Точность и оптимизация кинематических цепей станков.** 16 л., ил. В пер.: 1 р. 20 к. (По подписке).

Сафро Е. С. **Наладка одношпиндельных токарно-револьверных автоматов:** Справочник. 15 л. В пер.: 80 к.

Сафронович А. А. **Карусельные станки.** 18 л., ил. В пер.: 1 р. 30 к.

Сахаров Г. Н. **Обкаточные инструменты.** 16 л., ил. В пер.: 1 р. (По подписке).

Справочник по наладке токарных и револьверных автоматов/ А. А. Оганян, Э. М. Радинский, Л. Б. Гай, Г. Д. Райвид, 31 л., ил. (Серия справочников для рабочих). В пер.: 2 р. 10 к.

Фолпрехт Я., Заградник И. **Управление металлообрабатывающими станками:** Пер. с чешск. 25 л., ил. В пер.: 2 р. 10 к. (По подписке).

Шпиндельные узлы агрегатных станков: Альбом/Н. М. Вороничев, Г. И. Плащей, С. С. Гиндин и др. 29 л., ил. В пер.: 2 р. 40 к.

По всем вопросам приобретения новых книг, в том числе оформления предварительных заказов и подписки, читателям следует обращаться непосредственно в местные магазины, распространяющие техническую литературу, а также в специализированные магазины — опорные пункты издательства «Машиностроение».

85коп.



«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

Р. Б. МАРГОЛИТ НАЛАДКА СТАНКОВ С ПУ